



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OBTENCIÓN DE PASTA Y ACOPLÉ DE VIDRIO QUE NO LIBERE
PLOMO PARA ELABORAR TEJAS ARTESANALES USANDO HORNO
DE TIRO INVERTIDO.**

AUTOR:

William Benjamín Lema Tamay

DIRECTORA:

Ing. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DE
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

Cuenca, Diciembre del 2015



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

Los artesanos tejeros de la zonas de Racar y San Sebastián realizan la quema en hornos primitivos que llegan a temperaturas de 850°C, éstos son utilizados para el vidriado con óxido plomo crudo que funde a bajas temperaturas, el proyecto EELA ha diseñado y construido un horno de tiro invertido que llega a 1000°C, en este contexto se dosificó una pasta y se acoplo un vidrio que no libere plomo que se ajuste a las condiciones de dicho horno.

Se utilizó el método de vértices extremos en diseño de mezclas para realizar las pastas usando 4 arcillas comunes de la zona, se seleccionaron 4 experimentos a nivel de placas que presentaron un buen moldeo y cumplían con %absorción H₂O menor a 18% como se indica en INEN 0990. Para el acople de vidrio se utilizaron dos fritas comerciales EFA80 y A58200, éstas presentaron craquelado; se realizaron modificaciones en la pasta, granulometría, composición aumentando cuarzo, quemando el bizcocho a 1000°C y vidriado a 900°C. Logrando, en gran medida, disminuir el craquelado con la frita A5 8200 y el experimento 3+++.

Las pruebas en horno de tiro invertido se realizaron con el experimento 8, el horno no llego a las temperaturas indicadas en base a la información del proyecto EELA. En las pruebas con el horno eléctrico hubo un aumento en la carga a la rotura del 37,10% en bizcochadas, 38% con EFA80, 25% con A58200 en comparación con las tejas semimecanizadas iniciales, además los ensayos finales demostraron que no liberan plomo.

Palabras claves: Artesanos semimecanizados, teja, pasta, Horno de tiro invertido, Diseño experimental de mezclas, craquelado, oxido de plomo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ABSTRACT

The craftsmen who make tiles in areas of Racar and San Sebastián perform burning in primitive kilns that reach temperatures of 850°C, these are used for glazed with lead oxide crude that melts at low temperatures, the EELA project has designed and built a downdraft Kiln that reaches 1000°C, in this context a paste was dosed and coupled a glass that does not release lead that meets the conditions of that kiln.

Extreme Vertices method was used in mixtures design to make pasta using 4 clays common areas, 4 experiments were selected level plates showed good molding and met %absorption H₂O less than 18% as indicated in INEN 0990. Glasses for coupling was two fried commercials EFA80 and A58200, these had crackle; modifications were made pasta, particle size, composition increasing quartz, first burning at 1000°C and glaze 900°C. Achieving a large extent, reduce the crackle with A5 8200 frit and experiment 3+++.

The probes in the downdraft kiln were performed with experiment 8, the kiln doesn't reach the temperatures indicated on the basis of information from the EELA project, In the probes with electric kiln there was an increase in the load at break of 37,10% in burned tiles, EFA 80 38%, 25% A5 8200, compared with the initial semi mechanized tiles, moreover final tests showed no release lead.

Keywords: semi mechanized craftsmen, tile, paste, downdraft kiln, design of experiment with mixtures, crackled, lead oxide.



ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS DE LA TESIS.....	18
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	18
<i>OBJETIVOS ESPECIFICOS</i>	18
CAPITULO I	19
1.1 INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	19
1.1.1 <i>ANTECEDENTES</i>	19
1.1.2 <i>DEFINICIÓN DE TEJA</i>	19
1.1.3 <i>MATERIAS PRIMAS</i>	20
1.1.4 <i>COMPOSICIÓN DE PASTAS CERÁMICAS</i>	24
1.1.5 <i>VIDRIADO CERÁMICO</i>	25
CAPITULO 2	28
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TEJAS EN LOS SECTORES SEMIMECANIZADOS DE RACAR Y SAN SEBASTIÁN DEL CANTÓN CUENCA.	28
2.1.1 <i>ANTECEDENTES</i>	28
2.1.2 <i>SITUACIÓN ACTUAL DE LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS OBTENIDA MEDIANTE ENCUESTAS</i>	28
2.1.3 <i>ELABORACION DE TEJAS EN LOS SECTORES DE RACAR Y SAN SEBASTIAN DEL CANTON CUENCA</i>	32
2.2 HORNO DE TIRO INVERTIDO	43
2.2.1 <i>DESCRIPCIÓN DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO</i>	44
2.2.2 <i>DIMENSIONES DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO</i>	46
2.2.3 <i>CAPACIDAD DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO</i>	48
2.2.4 <i>MONITOREO DE TEMPERATURAS EN EL HORNO DE TIRO INVERTIDO</i>	49
CAPÍTULO 3	50
3.1 ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO ELABORADO	50
3.1.1 <i>CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS ARCILLOSAS</i>	50
3.1.2 <i>CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS TERMINADOS</i>	61
3.2 REQUISITOS PARA TEJAS.....	63
3.2.1 <i>RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</i>	64
3.2.2 <i>ABSORCIÓN DE AGUA</i>	65
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
CAPITULO 4	70



4.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS CON MEZCLAS.	70
4.1.1 DISEÑO SIMPLEX-LATTICE.	71
4.1.2 DISEÑO DE MEZCLAS CON RESTRICCIONES.	72
4.1.3 MODELO MATEMÁTICO PARA CARACTERIZAR LA SUPERFICIE DE RESPUESTA.	74
4.1.4 SELECCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS.	75
4.1.5 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES Y LAS VARIABLES DE RESPUESTA.	76
4.1.6 SELECCIÓN DE LOS NIVELES PARA LAS RESTRICCIONES DE LOS COMPONENTES.	76
4.1.7 DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL ALGORITMO DE VERTICES EXTREMOS.	77
4.1.8 INTERPRETACIÓN DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO AJUSTADO.	87
CAPITULO 5.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.1 ACOPLA PASTA VIDRIO Y PRUEBAS EN CAMPO.	90
5.1.1 SELECCIÓN DE LAS PASTAS PARA EL ACOPLA.	90
5.1.2 DILATOMETRIAS DE LAS PASTAS.	90
5.1.3 FRITAS PARA EL ACOPLA.	91
5.1.4 PRUEBAS PARA EL ACOPLA PASTA VIDRIO.	92
5.1.5 ENSAYOS PARA MEJORAR EL ACOPLA ENTRE LA PASTA Y EL VIDRIO.	94
5.2 PRUEBAS EN CAMPO.	100
5.2.1 SELECCIÓN DE LA PASTA.	100
5.2.2 ELABORACIÓN DE TEJAS.	101
5.2.3 QUEMA PARA EL BIZCOCHO EN HORNO DE TIRO INVERTIDO.	102
5.2.4 SEGUNDA QUEMA PARA EL VIDRIADO EN HORNO DE TIRO INVERTIDO.	103
5.2.5 QUEMA EN HORNO DE TIRO INVERTIDO.	104
5.3 PRUEBAS EN EL HORNO ELÉCTRICO.	113
5.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION Y ABSORCION DE AGUA.	114
5.4.1 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS ORIGINALES, TEJAS QUEMADAS EN EL HORNO DE TIRO INVERTIDO Y TEJAS QUEMADAS EN EL HORNO ELÉCTRICO. ...	114
5.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN TEJAS VIDRIADAS.	116
5.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	116
CAPÍTULO 6.	122
6.1 CONCLUSIONES.	122
6.2 RECOMENDACIONES.	125
BIBLIOGRAFÍA.	127



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS..... 129



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 MUESTRA LA CATEGORÍA DEL PRODUCTOR Y EL NÚMERO DE ENCUESTADOS.	29
TABLA 2.2 ARCILLAS USADAS POR LOS ARTESANOS Y SUS PORCENTAJES PARA ELABORAR PASTAS.....	30
TABLA 2.3 DIMENSIONES DEL INTERIOR DEL HORNO. FUENTE (GAVILANEZ, 2015)	46
TABLA 2.4 DIMENSIONES DE LA PUERTA DE INGRESO DE LA CARGA CERÁMICA AL HORNO.	47
TABLA 2.5 DUCTOS DE PURGA	47
TABLA 2.6 BOCAS DE COMBUSTIÓN SUS DIMENSIONES Y UBICACIÓN.	48
TABLA 2.7 RANGOS DE TEMPERATURA DE QUEMA EN EL HORNO DE TIRO INVERTIDO FUENTE (EELA, 2010).....	49
TABLA 3.1 ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS POR LOS SEMIMECANIZADOS. FUENTE: EL AUTOR.....	51
TABLA 3.2 CONTRACCIÓN AL SECADO DE LAS MATERIAS PRIMAS USADAS POR LOS SEMIMECANIZADOS DE RACAR Y SAN SEBASTIÁN.	52
TABLA 3.3 CONTRACCIÓN A LA PRIMERA QUEMA A LA TEMPERATURA DE 850 °C..	54
TABLA 3.4 CONTRACCIÓN A LA SEGUNDA QUEMA A LA TEMPERATURA DE 1000 °C.	54
TABLA 3.5 CONTRACCIÓN TOTAL DE LAS ARCILLAS USADAS POR LOS SEMIMECANIZADOS.	56
TABLA 3.6 GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA CERA.	56
TABLA 3.7 GRANULOMETRÍA DE ARCILLA ARENOSA DE BUENOS AIRES.....	57
TABLA 3.8 GRANULOMETRÍA DE ARCILLA ARENOSA DE SAN MIGUEL.	57
TABLA 3.9 GRANULOMETRÍA DE ARCILLA ROJA DE CUMBE.	58
TABLA 3.10 GRANULOMETRÍA DE ARCILLA MORADA.....	58
TABLA 3.11 GRANULOMETRÍA DE LA ARCILLA ROJA DE BUENOS AIRES.	59
TABLA 3.12 ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MATERIAS PRIMAS. FUENTE: CESEMIN.	60
TABLA 3.13 ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS VIDRIOS USADOS POR LOS ARTESANOS Y SEMIMECANIZADOS. FUENTE: CESEMIN.....	61
TABLA 3.14 PLASTICIDAD DE LA PASTA SEMIMECANIZADOS.	61
TABLA 3.15 CONTRACCIÓN TOTAL DE LA PASTA SEMIMECANIZADA.....	62
TABLA 3.16 GRANULOMETRÍA DE LA PASTA SEMIMECANIZADA.	62
TABLA 3.17 CATEGORIZACIÓN DE LAS TEJAS SEGÚN NORMA INEN 990.	63
TABLA 3.18 REQUISITOS PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE TEJAS SEGÚN NORMA INEN 0990.....	63
TABLA 3.19 REQUISITOS PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE TEJAS SEGÚN NORMA INEN 0990.....	64
TABLA 3.20 CARGA A LA ROTURA DE TEJAS SEMIMECANIZADAS. FUENTE. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS INGENIERIA. CIVIL.....	65
TABLA 3.21 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA DE TEJAS SEMIMECANIZADAS.	65
TABLA 3.22 MATERIAS PRIMAS Y SU CARACTERIZACIÓN.....	68



TABLA 4.1 LÍMITES DE LAS RESTRICCIONES DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA	77
TABLA 4.2 CORRIDAS EXPERIMENTALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS CON 4 COMPONENTES.....	78
TABLA 4.3 CORRIDA DE LOS EXPERIMENTOS Y RESPUESTAS OBTENIDAS.....	79
TABLA 4.4 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO.....	79
TABLA 4.5 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO. ..	80
TABLA 4.6 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL MODELO CUADRÁTICO AJUSTADO PARA LA CONTRACCIÓN AL SECADO.	81
TABLA 4.7 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE 850°C.	81
TABLA 4.8 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA 850°C.....	81
TABLA 4.9 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL MODELO CUADRÁTICO AJUSTADO PARA LA CONTRACCIÓN A 850 °C.....	82
TABLA 4.10 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA 1000°C.	82
TABLA 4.11 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN A LA QUEMA 1000°C.....	83
TABLA 4.12 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL MODELO CUADRÁTICO AJUSTADO PARA LA CONTRACCIÓN A 1000 °C.....	83
TABLA 4.13 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL.	83
TABLA 4.14 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL.....	84
TABLA 4.15 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL MODELO CUADRÁTICO AJUSTADO PARA LA CONTRACCIÓN TOTAL.	84
TABLA 4.16 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA.	85
TABLA 4.17 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA.	85
TABLA 4.18 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PAR UN MODELO LINEAL DE ABSORCIÓN DE AGUA.....	85
TABLA 4.19 ANÁLISIS DE LA VARIANZA ENTRE DOS MODELOS PARA LA CARGA A LA ROTURA.	86
TABLA 4.20 ANÁLISIS ENTRE DOS MODELOS PARA LA CARGA A LA ROTURA.	86
TABLA 4.21 ANÁLISIS DE LA VARIANZA PAR UN MODELO CUADRÁTICO PARA LA CARGA A LA ROTURA.	87
TABLA 5.1 EXPERIMENTOS SELECCIONADOS POR CUMPLIR CON LA NORMA INEN 0990 Y POSEER UN BUEN MOLDEO.	90
TABLA 5.2 DILATOMETRIA DE LA PASTA SEMIMECANIZADA.....	90
TABLA 5.3 DILATOMETRIA DE LA PASTA QUEMADA A 850°C	91
TABLA 5.4 DILATOMETRIA DE LAS PASTA QUEMADAS A 1000°C.....	91
TABLA 5.5 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS FRITAS COMERCIALES. FUENTE: CESEMIN91	
TABLA 5.6 DILATOMETRIAS DE FRITAS.....	92



TABLA 5.7 CONTRACCIÓN TRAS LA QUEMA Y CRAQUELADO.....	93
TABLA 5.8 COMPARACIÓN ENTRE DE CRAQUELADO DE CRAQUELADO DE EXPERIMENTOS CON PASANTE MALLA 8 ASTM Y MALLA CON ABERTURA DE 1MM.	94
TABLA 5.9 COMPARACIÓN DE %CONTRACCIÓN TOTAL Y VARIACIÓN DE GRANULOMETRÍA EN LAS PASTAS PARA EL VIDRIADO.	95
TABLA 5.10 PASTAS MODIFICADAS CON SÍLICE PARA LA FRITA EFA80.	95
TABLA 5.11 PASTAS MODIFICADAS CON SÍLICE Y MATERIALES PASANTES 0.5MM PARA LA FRITA A5 8200.	96
TABLA 5.12 RESULTADOS DE CONTRACCIÓN PARA EXPERIMENTOS CON EFA 80.	96
TABLA 5.13 % CONTRACCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS CON FRITA A5 8200.	97
TABLA 5.14 % DE CONTRACCIÓN DE EXPERIMENTOS MODIFICADOS Y QUEMA MODIFICADA CON EFA 80.....	98
TABLA 5.15 % DE CONTRACCIÓN DE EXPERIMENTOS MODIFICADOS Y QUEMA MODIFICADA CON A5 8200.	99
TABLA 5.16 DIALATOMETRÍAS DE EXPERIMENTOS MODIFICADOS, QUEMA DE BIZCOCHO A 1000°C.....	100
TABLA 5.17 DIALATOMETRÍAS DE LOS EXPERIMENTOS MODIFICADOS, QUEMA VIDRIADO A 900°C.....	100
TABLA 5.18 CARGA A LA ROTURA Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS EXPERIMENTOS SELECCIONADOS PARA EL ACOPLE.	100
TABLA 5.19 CARGA A LA ROTURA Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LAS PLACAS VIDRIADAS.....	101
TABLA 5.20 DOSIFICACIÓN PARA EL EXPERIMENTO 8 CON UNA CARRETILLA DE 0,065 M ³	101
TABLA 5.21 RANGOS DE TEMPERATURA PARA EL BIZCOCHADO DE TEJAS CON EL HORNO DE TIRO INVERTIDO.	103
TABLA 5.22 RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA PRIMERA PRUEBA PARA EL VIDRIADO TERMOCUPLA 1.	106
TABLA 5.23 RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA PRIMERA PRUEBA PARA EL VIDRIADO TERMOCUPLA 2 EN LA CÚPULA.....	106
TABLA 5.24 RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA SEGUNDA PRUEBA PARA EL VIDRIADO TERMOCUPLA 1.	109
TABLA 5.25 RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA SEGUNDA PRUEBA PARA EL VIDRIADO TERMOCUPLA 2.	109
TABLA 5.26 RANGOS DE TEMPERATURA PARA LA ÚLTIMA PRUEBA PARA EL VIDRIADO	113
TABLA 5.27 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LAS TEJAS.	114
TABLA 5.28 RESULTADOS DE % ABSORCIÓN DE AGUA EN LAS TEJAS.....	114
TABLA 5.29 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS Y QUEMADAS EN HORNO DE TIRO INVERTIDO PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	115
TABLA 5.30 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS Y QUEMADAS EN HORNO DE TIRO INVERTIDO PARA ÉL % ABSORCIÓN DE AGUA.	115



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA 5.31 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS Y QUEMADAS EN ELÉCTRICO PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	115
TABLA 5.32 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS Y QUEMADAS EN ELÉCTRICO PARA ÉL % DE ABSORCIÓN DE AGUA.	116
TABLA 5.33 ANÁLISIS DE PLOMO EN TEJAS VIDRIADAS CON LA FRITA EFA 80 Y A5 8200	116



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 TEJA CURVADA.....	20
FIGURA 2.1 VIDRIO Y FRITA UTILIZADOS EN EL VIDRIADO DE TEJAS Y EL PORCENTAJE DE SEMIMECANIZADOS QUE UTILIZAN ESTOS COMPONENTES.....	30
FIGURA 2.2 COMPONENTES MÁS UTILIZADOS POR LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL VIDRIO CON PLOMO.	31
FIGURA 2.3 PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN ANUAL DE PIEZAS CERÁMICAS ELABORADAS POR LOS SEMIMECANIZADOS.	31
FIGURA 2.4 TIPOS DE HORNO USADOS POR LOS SEMIMECANIZADOS.	32
FIGURA 2.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DE TEJAS.	33
FIGURA 2.6 PLANO SIMPLE DE LOS TALLERES DE LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS: FUENTE. EL AUTOR.....	34
FIGURA 2.7 ALMACENAMIENTO DE ARCILLAS.	35
FIGURA 2.8 ZONA DE PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.	36
FIGURA 2.9 MOLINO DE RODILLOS.....	36
FIGURA 2.10 EXTRUSORA UTILIZADA POR LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS. FUENTE EL AUTOR.	37
FIGURA 2.11 MEZCLADOR DE TIPO CUBETA CONTINUÓ DE LA EXTRUSORA.	38
FIGURA 2.12 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN.	38
FIGURA 2.13 CORTE DE LA TEJA.	39
FIGURA 2.14 SECADO DE TEJAS.....	40
FIGURA 2.15 HORNO ARTESANAL DE SECCIÓN CUADRADA.	40
FIGURA 2.16 COLOCACIÓN DE LAS TEJAS EN EL INTERIOR DEL HORNO ARTESANAL DE SECCIÓN CIRCULAR.	41
FIGURA 2.17 ENCENDIDO DEL HORNO.	42
FIGURA 2.18 DESCARGA Y ALMACENAMIENTO DE LAS TEJAS VIDRIADAS DEL HORNO ARTESANAL.	43
FIGURA 2.19 HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	44
FIGURA 2.20 COMPOSICIÓN DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	45
FIGURA 2.21 HORNO DE TIRO INVERTIDO Y EL FLUJO DE GASES.....	46
FIGURA 2.22 IMAGEN DEL INTERIOR DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO.	47
FIGURA 2.23 BOCAS LATERALES DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	48
FIGURA 2.24 DIAGRAMA DE COCCIÓN TIEMPO TEMPERATURA DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO DE CUSCO PERÚ. FUENTE (EELA, 2010)	49
FIGURA 3.1 PLACAS REALIZADAS CON LAS ARCILLAS UTILIZADAS POR LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS, PARA MEDIAR CONTRACCIÓN AL SECADO	53
FIGURA 3.2 PLACAS QUEMADAS A LA TEMPERATURA DE 1000°C.....	55
FIGURA 3.3 CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE CADA UNO DE LAS ARCILLAS.....	59
FIGURA 3.4 CURVA GRANULOMÉTRICA DE PASTA SEMIMECANIZADA.	63
FIGURA 3.5 DIAGRAMA CASAGRANDE.	66
FIGURA 4.1 REGIÓN EXPERIMENTAL PARA Q=4.	71
FIGURA 4.2 SIMPLEX-LATTICE PARA {3, 2}.	72



FIGURA 4.3 DISEÑO DE VÉRTICES EXTREMOS. FUENTE (MCLEAN & ANDERSON, 1966).....	74
FIGURA 5.1 PLACAS VIDRIADAS CON A5 8200, EFA80 Y AT.....	92
FIGURA 5.2 PLACAS CRAQUELADA CON FRITA EFA 80.....	93
FIGURA 5.3 PLACA CRAQUELADA CON LA FRITA A5 8200.....	93
FIGURA 5.4 CRAQUELADO CON LA FRITA A5 8200 CON LOS EXPERIMENTOS MODIFICADOS.....	97
FIGURA 5.5 CRAQUELADO CON LA FRITA EFA 80 CON LOS EXPERIMENTOS MODIFICADOS.....	98
FIGURA 5.6 EXPERIMENTO 3+++ CON FRITA A5 8200 MEJOR RESULTADO OBTENIDO AL DISMINUIR EL CRAQUELADO CON LA FRITA CHIVIT.....	99
FIGURA 5.7 TEJAS ELABORADAS EN LOS TALLERES DE LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS.....	102
FIGURA 5.8 MONITOREO DE TEMPERATURA PARA EL BIZCOCHO UTILIZANDO HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	102
FIGURA 5.9 TEJAS ESMALTADAS CON FRITA EFA 80 Y A5 8200.....	104
FIGURA 5.10 SECCIÓN DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO CON LA UBICACIÓN DE LAS TEJAS VIDRIADAS Y TERMOCUPLAS.....	105
FIGURA 5.11 MONITOREO DE TEMPERATURAS CON LA TERMOCUPLA 1 PARA LA PRIMERA PRUEBA EN EL VIDRIADO.....	105
FIGURA 5.12 MONITOREO DE TEMPERATURAS CON LA TERMOCUPLA 2 EN LA CÚPULA PARA LA PRIMERA PRUEBA EN EL VIDRIADO.....	106
FIGURA 5.13 TEJAS CON LA FRITA NO FUNDIDA LUEGO DE LA PRIMERA PRUEBA UBICADAS EN LA CÚPULA Y ZONA MEDIA DEL HORNO.....	107
FIGURA 5.14 TEJAS CON LA FRITA FUNDIDA LUEGO DE LA PRIMERA PRUEBA UBICADAS CERCA DE LA TERCERA BOCA DE COMBUSTIÓN DEL HORNO.....	107
FIGURA 5.15 SECCIÓN DEL HORNO CON LA UBICACIÓN DE LAS TEJAS Y LA TERMOCUPLA 2.....	108
FIGURA 5.16 MONITOREO DE TEMPERATURAS CON LA TERMOCUPLA 1 PARA LA SEGUNDA PRUEBA EN EL VIDRIADO.....	108
FIGURA 5.17 MONITOREO DE TEMPERATURAS CON LA TERMOCUPLA 2 PARA LA SEGUNDA PRUEBA EN EL VIDRIADO.....	109
FIGURA 5.18 TEJAS DE COLOR NEGRO DESPUÉS DE LA SEGUNDA PRUEBA EN LA QUEMA CON EL HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	110
FIGURA 5.19 TEJAS DE COLOR VERDE OSCURO DESPUÉS DE LA SEGUNDA PRUEBA EN LA QUEMA CON EL HORNO DE TIRO INVERTIDO.....	110
FIGURA 5.20 RESULTADOS DE LA TERCERA PRUEBA CON FRITA EFA 80 Y A5 8200.....	111
FIGURA 5.21 TEJAS VIDRIADAS LUEGO DE LA ÚLTIMA QUEMA REALIZADA EN EL HORNO DE MANUEL RIERA.....	111
FIGURA 5.22 CURVA DE COCCIÓN ESTIMADA PARA EL VIDRIADO EN EL HORNO DE TIRO.....	112
FIGURA 5.23 TEJAS VIDRIADAS CON LA FRITA EFA 80 QUEMADAS EN EL HORNO ELÉCTRICO.....	113



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FIGURA 5.24 TEJAS VIDRIADAS CON LA FRITA A5 8200 QUEMADAS EN EL HORNO ELÉCTRICO..... 113



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

William Benjamín Lema Tamay, autor de la tesis "**Obtención de pasta y acople de vidrio que no libere plomo para elaborar tejas artesanales usando horno de tiro invertido**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 17 de Diciembre del 2015



William Benjamín Lema Tamay
C.I:0106411168



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

William Benjamín Lema Tamay, autor de la tesis "**Obtención de pasta y acople de vidrio que no libere plomo para elaborar tejas artesanales usando horno de tiro invertido**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de Diciembre del 2015



William Benjamín Lema Tamay
C.I.:0106411168



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por el sacrificio que realizaron para darme una educación. A mis hermanos por ser una fuente de inspiración y perseverancia.

A la Ing. Catalina Peñaherrera por darme la oportunidad de realizar este trabajo de tesis, por compartir sus conocimientos y por su paciencia.

A la Comisión de Gestión Ambiental del Cantón Cuenca, a la Arq. Nélida Cabrera y a la Ing. Sandra Gavilanes representante de Swisscontac Ecuador por su apoyo, a los artesanos tejeros de los sectores de Racar y San Sebastián.

A la Universidad de Cuenca, a la Escuela de Ingeniería Química y todos sus docentes de quienes aprendí mucho y siempre serán una inspiración.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

INTRODUCCIÓN

La fundación Suiza Swisscontact tiene el Proyecto de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales – EELA que es parte del Programa Regional que se desarrolla en seis países de América Latina, el cual tiene como objetivo contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producido por las ladrilleras y tejas artesanales de América Latina y mejorar la calidad de vida de los ladrilleros y tejeros, para esto desarrolla programas de cooperación con entidades del sector público y privado, en este ocasión Swisscontact Ecuador bajo este contexto ha firmado un convenio con el GAD del cantón Cuenca provincia del Azuay, para trabajar con los sectores tejeros de San José de Balzay y Racar del mencionado cantón. La GAD a su vez solicitó la colaboración de la Universidad de Cuenca para desarrollar el proyecto “Alternativas para sustituir el óxido de plomo en el vidriado de tejas”, cuyo objetivo es disminuir la contaminación ambiental producida por esta actividad artesanal así como también contribuir a mejorar la calidad de vida y salud de sus productores los Artesanos Tejeros de los sectores de San José de Balzay y Racar. Los artesanos de estas parroquias utilizan hornos de leña que generan una gran cantidad de gases de efecto invernadero y usan el óxido de plomo en la dosificación de sus vidriados crudos, con el riesgo de contaminación de ellos y de sus familias, en especial de los niños y ancianos que laboran en estas tejas.

Como parte del cambio tecnológico Swisscontact, ha desarrollado un Horno de tiro invertido que llega a temperaturas de alrededor de 1000°C, es decir entre 150 y 200°C por encima de los hornos artesanales habituales, esta temperatura permitirá la obtención de tejas de mayor resistencia mecánica incrementando su calidad. Para ello con esta tesis se va a dosificar una nueva pasta que se encuentre apta para ser quemada a las temperaturas de dicho Horno, procurando usar las mismas materias primas que los artesanos usan para realizar tejas, y buscar un vidrio que no libere plomo y se acople a esta pasta para ser usados en las condiciones de dicho horno



OBJETIVOS DE LA TESIS

OBJETIVO GENERAL

Obtención de pasta y acople de vidrio que no libere plomo para elaborar tejas artesanales usando horno de tiro invertido.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Levantar la información de los Artesanos Tejeros de los sectores de San José de Balzay y Racar del Cantón Cuenca mediante encuestas para analizar el proceso de elaboración de las tejas, tipos de materias primas y tejas elaboradas.
2. Dosificar la pasta de acuerdo a las materias primas del sector utilizando un diseño experimental con mezclas, para la elaboración de tejas que serán quemadas en las condiciones del horno de tiro invertido.
3. Determinar cuál o cuáles de los vidrios o fritas sin plomo o que no liberen, existentes en el mercado y que se acoplen mejor a la nueva pasta, para ser usados en el Horno de tiro invertido. Validación de la pasta y del vidriado en las condiciones de trabajo de los Artesanos Tejeros usando el horno de tiro invertido.
4. Determinar las propiedades, físico-mecánicas del nuevo acople pasta vidrio.



CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

1.1.1 ANTECEDENTES.

Los artesanos de las parroquias de Racar y San Sebastián han elaborado tejas desde ya hace mucho tiempo siguiendo las costumbres heredadas de sus padres y abuelos, ha pasado ya generaciones de artesanos que han elaborado las tejas usando el caballo para la mezcla de materias primas, los hornos de leña en la quema y el óxido de plomo crudo en el vidriado de las tejas. A pesar de que poco o nada se ha cambiado desde los primeros artesanos que se dedicaron a la elaboración de tejas hasta la época actual, hay una cantidad notable de artesanos que están elaborando tejas de forma semimecanizada usando pequeños molinos de rodillos, y una extrusoras, estos equipos aunque no sean de origen industrial ni hayan cambiado de forma drástica el proceso de elaboración de tejas están contribuyendo a dar un paso en el cambio tecnológico. Estos artesanos ven estos cambios como una alternativa para competir con Industrias Cerámicas ya establecidas en el Cantón y también como una oportunidad para mejorar su calidad de vida.

1.1.2 DEFINICIÓN DE TEJA.

Es una pieza acanalada o plana, de poco espesor, hecha de arcilla o tierra arcillosa, adecuadamente quemada (NTE INEN 986, 1982). Las tejas cerámicas son elementos de colocación discontinua sobre tejados inclinados y para el revestimiento interior y exterior de muros. Se obtienen por conformación, extrusión o prensado, secado y cocción de una pasta arcillosa que contenga o no aditivos. Las tejas cerámicas pueden estar cubiertas total o parcialmente de vidrio o no (Tejas Ceramicas, n.d).

1.1.2.1 TEJA VIDRIADA.

Las tejas cerámicas pueden llevar en su cara exterior o interior una capa de material impermeable que reduce notablemente la absorción de humedad. En este caso se conoce como tejas vidriadas (NTE INEN 986, 1982).



1.1.2.2 LA TEJA CURVADA.

Son elementos de cobertura en forma de canalón, cuyo diseño permite obtener valores variables de solape entre las piezas. Los bordes pueden ser paralelos o convergentes (Tejas Ceramicas, n.d) Otra definición de teja según la Norma (NTE INEN 986, 1982) es, la que tiene forma acanalada en el sentido longitudinal, con una ligera reducción de su ancho hacia un extremo.



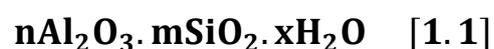
Figura 1.1 Teja Curvada

1.1.3 MATERIAS PRIMAS.

La materia prima para la fabricación de las tejas es principalmente la arcilla o tierra arcillosa. Esta debe ser de suficiente plasticidad y consistencia para que pueda tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones (NTE INEN 986, 1982).

1.1.3.1 ARCILLA.

Las arcillas son depósitos térreos que tienen la propiedad de plasticidad cuando se humedece con una cierta cantidad de agua y consiste de un material granulosos muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 1 micras (Dominguez & Schifter, 1995), son minerales formados por silicatos de aluminio hidratados o aluminosilicatos hidratados cuya fórmula general es:





Son innumerables y constituyen la mayor parte de la corteza terrestre (sial). Es preciso su profundo conocimiento por constituir la base de la elaboración de los productos cerámicos y condicionar sus características (Güeto, 2012).

1.1.3.2 ARCILLAS ROJAS:

Estas arcillas son de amplia distribución geográfica, gran variedad composicional y bajo coste, el color rojizo proviene de sus componentes férricos ya que poseen un alto contenido en Fe_2O_3 o Hematita y otros minerales de hierro como Magnetita, Goethita y Pirita (Bernal, 2003). Poseen minerales en láminas aparte de la arcilla están las micas y cloritas, también contienen concentraciones de carbonatos emigrados en la arcilla que es propia de las localidades, es por esto que las arcillas para tejas tengan nombres de las localidades de donde se extrae el material.

1.1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS ROJAS

Estas dependen del yacimiento de donde provienen, dicho esto aunque no sean características específicas se pueden citar algunas.

1. El color es muy variable van desde amarillas, pardas hasta rojizas.
2. Al moldearla con agua y cortarla poseen una superficie brillante.
3. Las arcillas rojas poseen alrededor de 3 al 8 % de óxido de hierro.
4. Cuando se mezcla con agua forman arcillas muy plásticas pudiendo contener hasta un 30% en peso de agua.
5. Las contracción al secado varía desde 4.8 a 9.6%.
6. En la cocción los minerales de hierro actúan como fundentes siendo su temperatura de cocción relativamente baja por lo que no es posible su completa vitrificación para obtener un gres (Peñaherrera, 2012). El punto de fusión de estas arcillas son menores que las de los caolines y se encuentran entre 1150 y 1300°C. Por la presencia de óxido de hierro el color tras la cocción en atmosfera oxidante es de color rojizo, la cocción en atmosfera reductora da un color más pardo y si existe presencia de cal provoca un color más pálido, si se utiliza combustible como alquitrán y aceites en atmosferas reductoras se consigue teñir de color negro la pieza cerámica, en general la presencia de óxidos metálicos modifican el color de la pieza. (Güeto, 2012)



7. Luego de la cocción la pieza cerámica sufre una disminución de su peso y tamaño. El material cocido es poroso, con una absorción de agua que dependerá de la temperatura a la que fue quemada como de la granulometría del material. (Brugueras, 1984) .

1.1.3.4 DIMENSIÓN DE LA PARTÍCULA ARCILLOSA.

Cada arcilla posee una granulometría propia que difiere de otras arcillas, esta propiedad depende de varios factores como el de la dimensión de las partículas de caolinita, materiales procedentes de la roca madre o añadidos durante el desplazamiento o la sedimentación. Según (Segeer) clasifica el tamaño de partículas de la siguiente manera para tamaños desde 0 a 0,001 mm como arcilla, desde 0,001mm hasta 0,025 polvo extrafino, de 0,025 hasta 0,04 mm arena impalpable y de ahí en adelante como arena fina y gruesa, la clasificación según Attemberg es de 0 a 0,0002 mm arcilla, de 0,0002 mm a 0,002 polvo extrafino, 0,002 a 0,02 arena fina de ahí en adelante arena gruesa y muy gruesa hasta 2mm, de esto se puede concluir que las partículas de arcilla son menores a 1 micra de diámetro de gran superficie específica, los conocimientos de granulometría son de gran importancia en cerámica ya que estos dictan propiedades como la adsorción, plasticidad, contracción, velocidad de sinterización en la cocción. (Güeto, 2012)

1.1.3.5 PLASTICIDAD.

Es la capacidad de una arcilla que al absorber agua y con una cantidad dada de ella, llega a un estado en que por aplicación de presión puede deformarse sin ruptura y conserva su nueva forma cuando desaparece la presión. Al someterla a secado la capacidad de deformación se pierde gradualmente hasta volverse relativamente dura y frágil. Esta es la propiedad más importante en las arcillas y la más compleja, para que exista la deformación debe haber un flujo de unas partículas sobre otras y para que exista la forma debe haber una resistencia a fluir, este tipo de flujo se llama elástico-plástico, diferenciándose del flujo viscoso presente en los líquidos. La plasticidad está relacionada con las propiedades fisicoquímicas entre las partículas coloidales de arcilla y el agua, estando afectada por 4 factores:



Composición mineralógica, tamaño de partícula y distribución, capacidad de cambio de catión, tensión superficial del agua. (Singer & Singer, 1979)

1.1.3.6 SECADO

Dependiendo de las características físicas de los materiales arcillosos pueden contener del 15 al 50% de su peso en agua para formar masas plásticas, las arcilla húmeda a una determinada condición atmosférica tiende a ceder agua al aire, esto lo hace en forma gradual, primero a velocidad constante y luego a velocidad decreciente hasta no contener agua libre.

El agua contenida por la masa plástica se divide en cuatro fracciones.

1. Agua higroscópica: es el agua retenida por los minerales de arcilla.
2. Agua de contracción: esta se encuentra entre los huecos e intersticios entre partículas.
3. Agua de plasticidad: es la película de agua que reviste las partículas y minerales de arcilla.
4. Agua de porosidad: es el agua retenida en el interior de los cristales por fenómenos de adsorción y capilaridad y configuración rugosa de la superficie del cristal.

Durante el secado primero se elimina el agua que se encuentra entre los intersticios de las partículas o agua de contracción, a una velocidad constante las tensiones producidas por la pérdida de agua provocan que las partículas se aproximen unas con otras produciendo una contracción de toda la pieza, manteniéndose la superficie húmeda, en el segundo tiempo se elimina la película de agua que envuelve las partículas de arcilla o agua de plasticidad, esto provoca que las partículas se aproximen más hasta tocarse entre sí y comienzan a formarse huecos, produciéndose otra contracción pero menor a la primera, por último el agua de porosidad esta agua se elimina dejando huecos. (Güeto, 2012)

1.1.3.7 TRANSFORMACIONES DURANTE LA COCCIÓN.

Durante la cocción la arcilla seca sufre las siguientes transformaciones.

- De naturaleza química-física: variaciones de estructura química y cristalina.
- De naturaleza mecánica: dilatación, porosidad, resistencia mecánica.



La serie de reacciones químicas está dada por la composición mineralógica, química granulométrica de las arcillas y es diferente para cada uno de estas. Así se pueden distinguir varias etapas en la cocción atendiendo a la temperatura y a las transformaciones producidas.

1. Alrededor de los 200°C se elimina la humedad residual es decir el agua higroscópica, esta no se elimina durante el secado ya que se encuentra entre las láminas alojadas entre los planos moleculares de la sustancia arcillosa, en el interior de las partículas. Entre 200 a 350 °C no se presenta variación química ni estructural.
2. A las temperaturas de 350 y 700°C las sustancias orgánicas presentes en las arcillas se oxidan y se volatilizan, simultáneamente alrededor de los 400°C se elimina el agua de combinación que es el agua combinada químicamente a los minerales de arcilla, este proceso es endotérmico y requiere calor. Se tiene así una reacción de descomposición del caolín en metacaolín o caolín deshidratado.
3. Entre 700 °C a 900 °C el metacaolín compuesto muy inestable y ávido para reaccionar desprende alúmina γ , quedando así libre la sílice.
4. Entre 900 °C a 1000 °C se producen reacciones exotérmicas la primera se transforma la alúmina γ en alúmina α , la segunda es la combinación de la alúmina con la sílice, como indica la reacción.



5. Por arriba de los 1000°C el silicato $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ se enriquece de alúmina y forma mullita. $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, la transformación no es regular depende de la tiempo de permanecía al fuego, a la presencia de materiales extraños y fundentes. (Güeto, 2012) (Singer & Singer, 1979)

1.1.4 COMPOSICIÓN DE PASTAS CERÁMICAS.

Las pastas pueden ser simples formadas por un solo material o pastas compuestas, formadas por adición de varios ingredientes, en los dos casos la composición es heterogénea pues por lo mínimo es necesario tres materiales con propiedades diferentes.

1. Agente plástico: contribuyen con el moldeo, sustancias arcillosas.



2. Áridos o desengrasantes: compensan el exceso de plasticidad, en la cocción actúa como esqueleto o armazón, como el cuarzo.
3. Fundentes: son los compuestos de menor punto de fusión, a temperaturas altas se ablandan formando un estado viscoso que es absorbido por los poros de las sustancias más refractarias, la porción fundida al enfriarse formara una matriz vítrea, que une los granos dispersos y sellara la porosidad dependiendo del tipo de pasta, estos compuestos son los feldespatos y óxidos férricos. (Güeto, 2012)

Las arcillas rojas son aquellas que contienen los agentes plásticos, suficientes impurezas como áridos y fundentes para realizar una pasta.

1.1.5 VIDRIADO CERÁMICO

Es una capa fina de vidrio o vidrio más cristales, que se aplica y luego se quema sobre la superficie cerámica cruda o bizcochada. Se usa para hacer a la pieza cerámica más agradable al tacto o proveerla de un revestimiento impermeable, más resistente a las sustancias químicas y mecánicamente más fuerte. (Peñaherrera, 2012)

1.1.5.1 VIDRIOS.

Los vidrios son materiales de constitución inorgánica que se obtienen por enfriamiento rápido de una masa fundida, impidiendo su cristalización. Todos los materiales denominados vidrios se caracterizan por poseer una estructura fundamentalmente amorfa, es decir carente de un ordenamiento geométrico en su estructura, existen partes en los vidrios donde es posible encontrar ciertos átomos con cierta ordenación geométrica, pero conectados de forma desordenada e irregular, los vidrios dependen de su composición química, y métodos de fabricación. Los vidrios carecen de un punto de fusión definida, fundiendo en intervalos amplios de temperatura. De estructura amorfa como la de un líquido muy viscoso cuya viscosidad aumenta al disminuir la temperatura hasta llegar al estado de un líquido subenfriado, a consecuencia de esto el vidrio tiene propiedades ópticas brillo, difracción, refracción, en todas las direcciones, a diferencia de los cuerpos cristalinos. (Güeto, 2012) (Mari, 1982)



1.1.5.2 VIDRIOS CON PLOMO.

El monóxido de plomo (PbO) o litargirio posee una gran capacidad fundente es un modificador de retículo da un gran brillo, de color amarillo aspecto cristalino e insoluble en agua, a los esmaltes aumenta el coeficiente de dilatación y la tensión superficial, a los $450^{\circ}C$ se combina con el oxígeno y forma tetraóxido de triplomo y se reduce fácilmente con monóxido de carbono o hidrogeno a altas temperaturas, se usa a temperaturas hasta $1150^{\circ}C$ ya que luego de esta se volatiliza. Durante la cocción en atmosferas reductoras produce metalización, el óxido plomo tiene un problema es altamente toxico al ser ingerido o inalado, el organismo no lo elimina eficazmente y por acumulación en el organismo provoca una enfermedad conocida como saturnismo, es una neurotóxina que con el tiempo y exposición provoca la pérdida de conocimiento y memoria, en especial en niños y ancianos. (Brugueras, 1984) (Güeto, 2012)

Por otro lado tenemos al Minio (Pb_3O_4) de un color rojo anaranjado también toxico favorece la atmosfera oxidante ya que desprende oxigeno durante la cocción así a los $550^{\circ}C$ forma monóxido de plomo, es el compuesto de plomo más usado en cerámica por su mayor densidad y facultades oxidantes también favorece a la suspensión de esmaltes y preferido por que disminuye el riesgo de oscurecimiento por reducción. (Güeto, 2012)

El carbonato de plomo ($PbCO_3$): Albayalde o cerusa funde antes que el minio pero es más caro y mucho más fino por lo que el riesgo a intoxicación aumenta.

Dióxido de plomo (PbO_2) de color pardo insoluble en agua, es un oxido anfótero y un oxidante fuerte se descompone a $290^{\circ}C$.

1.1.5.3 FRITAS

Es la fusión de componentes solubles de materiales cristalinos con todo o parte de la composición que forman compuestos insolubles generalmente silicatos o aluminosilicatos que en el estado fundido y enfriado bruscamente se solidifican y quiebran, luego se trituran y se utiliza en una suspensión acuosa, son usados como componentes de esmaltes cerámicos en proporciones variadas, la razón principal en cerámica para realizar un fritado parte de la necesidad de usar materiales solubles en agua, en los esmaltes,



UNIVERSIDAD DE CUENCA

elementos alcalinos como boratos, carbonatos y nitratos son solubles en agua, pero si se funden con sílice y otros componentes forman vidrios insolubles en agua, este es el principal razón del fritado, pero el principio puede ser usado para otros fines como mejorar un vidriado. (Escrig, N/A). (Güeto, 2012)

1.1.5.4 FRITAS CON PLOMO.

A consecuencia de la alta toxicidad del plomo, este debe ser fritado con sílice para obtener el silicato de plomo de formula $PbO \cdot 2SiO_2$, es insoluble relativamente en agua, las fritas de plomo más completas contienen álcalis y alúmina que son más estables del punto de vista químico, y la toxicidad disminuye considerablemente. Existen también las fritas con plomo y oxido de boro se usan en vidriados a baja temperatura. (Güeto, 2012)



CAPITULO 2

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TEJAS EN LOS SECTORES SEMIMECANIZADOS DE RACAR Y SAN SEBASTIÁN DEL CANTÓN CUENCA.

2.1.1 ANTECEDENTES.

Para entender cómo se encuentra en la actualidad el proceso de elaboración de las tejas en los sectores estudiados, se procedió al levantamiento de una línea base por medio de encuestas, las encuestas son parte del convenio de cooperación entre la Universidad de Cuenca y GAD Municipal del cantón Cuenca para el desarrollo del proyecto “Alternativas para la sustitución de óxido de plomo en el vidriado de tejas”. Estas encuestas están constituidas de 6 secciones, la sección uno es la de información personal, la sección dos es producción, sección tres tecnológica, sección cuatro información social, sección cinco seguridad ocupacional, y por último la sección seis información adicional. De las mismas que se consideraran solo los contenidos útiles para esta tesis como son la uno, dos, tres, y de estas se han de abordar solo aquellos contenidos que sirvan de base para esta tesis.

Todo este análisis sirve de cimiento para plantearnos objetivos claros en cuanto al diseño experimental de mezclas y también para rectificar los objetivos planteados en base a los hechos, a la observación y experimentación.

2.1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS OBTENIDA MEDIANTE ENCUESTAS.

De la sección I es necesario conocer cuántos artesanos se encuentran dedicados a la elaboración de tejas de forma semimecanizada en los sectores mencionados, ver Tabla 2.1.



Categoría del productor	Número de encuestados
Artesanal	9
Semimecanizado	9

Tabla 2.1 Muestra la categoría del productor y el número de encuestados. Según las encuestas se considera semimecanizado al encuestado si en el proceso productivo de elaboración de tejas cuenta en su taller con una batidora o algún equipo o maquinaria electromecánica, en caso contrario si realiza tejas sin ayuda de ningún equipo se considera artesanal, teniendo en consideración esto se obtuvo que 9 de los 18 encuestados caen en la categoría de semimecanizados. Tomando en cuenta esto se realiza la presente tesis enfocada a este sector o sea a los 9 semimecanizados. En esta misma sección nos interesa conocer las arcillas que usan y las proporciones con las que dosifican sus pastas, así se obtiene la Tabla 2.2. Se observa en esta tabla las arcillas usadas por sus nombres característicos que corresponden a la zona de donde son extraídas. Se puede observar que todos los semimecanizados usan en común dos arcillas en su dosificación: fina de Santa Ana y Roja de Cumbe siendo las demás usadas o no en diferentes proporciones según el artesano semimecanizado. Es importante conocer estos datos ya que nos sirven para entender como los artesanos dosifican sus pastas cuáles son sus materiales más influyentes y que materiales no, y cómo estos se comportan en el moldeo, secado, cocción y el vidriado.



Código.	Fina de Santa Ana	Roja de Cumbe	Arenosa de San Miguel	Arenosa de Buenos Aires	Morada de Santa Ana	Roja de Buenos Aires	TOTAL
CPSM1	33,34	33,32	33,34	0,00	0,00	0,00	100,00
CSSM2	33,33	33,33	0,00	33,33	0,00	0,00	100,00
HSSM3	33,33	33,33	33,33	0,00	0,00	0,00	100,00
JSSM4	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
JSCSM5	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
LMSM6	49,98	50,02	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
RSSM7	14,30	14,30	0,00	42,82	14,28	14,30	100,00
SGSM8	50,03	49,97	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
VTSM9	20,02	39,99	39,99	0,00	0,00	0,00	100,00

Tabla 2.2 Arcillas usadas por los artesanos y sus porcentajes para elaborar pastas.

De esta sección también nos interesa conocer acerca de los vidrios o fritas más usados por los artesanos semimecanizados en el vidriado, se realizaron las preguntas pertinentes y se obtuvo Figura 2.1 de pastel.



Figura 2.1 Vidrio y frita utilizados en el vidriado de tejas y el porcentaje de semimecanizados que utilizan estos componentes

De las encuestas también se obtuvieron los componentes más utilizados por los artesanos semimecanizados en la elaboración de su vidrio con plomo, ver figura 2.2.

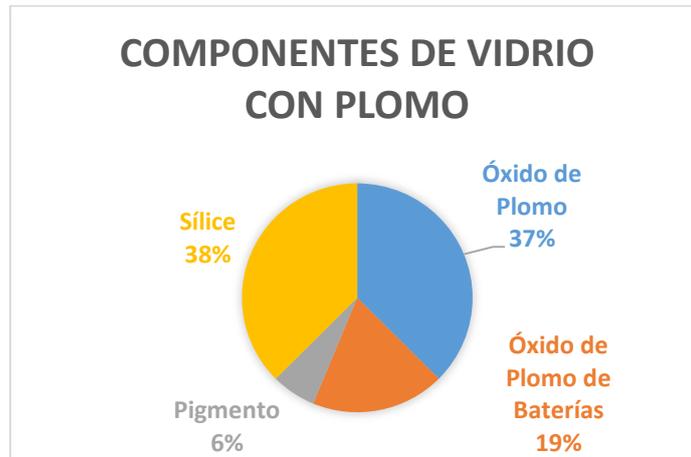


Figura 2.2 Componentes más utilizados por los artesanos semimecanizados en la elaboración del vidrio con plomo.

Es importante conocer qué tipos de piezas cerámicas son las más elaboradas por los semimecanizados, con la ayuda de las encuestas de la sección II se obtuvo la Figura 2.3.

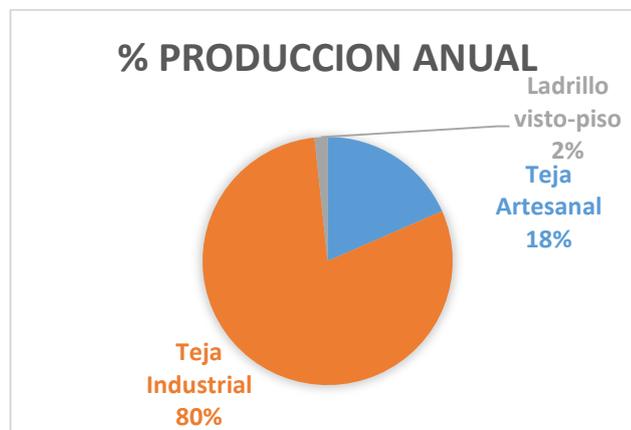


Figura 2.3 Porcentaje de producción anual de piezas cerámicas elaboradas por los semimecanizados.

Se considera a la teja industrial aquella que es elaborada en una extrusora, y la artesanal aquella que se realiza con un molde o galápago sin equipos electromecánicos, como se observa en la gráfica la pieza más elaborada es la teja industrial, esta es curva y vidriada, se dedicara en esta tesis a este tipo de teja semimecanizada.



En la sección III se encontraron los tipos de hornos artesanales más usados por los semimecanizados, la Figura 2.4 de pastel muestra el tipo de horno y el porcentaje de semimecanizados que poseen estos hornos.



Figura 2.4 Tipos de hornos usados por los semimecanizados.

2.1.3 ELABORACION DE TEJAS EN LOS SECTORES DE RACAR Y SAN SEBASTIAN DEL CANTON CUENCA

El proceso de elaboración de tejas en los sectores semimecanizados obedece a la siguiente secuencia, almacenamiento de materias primas, preparación de la pasta, mezclado y amasado, moldeo, secado, cocción, vidriado, como muestra la figura 2.5.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

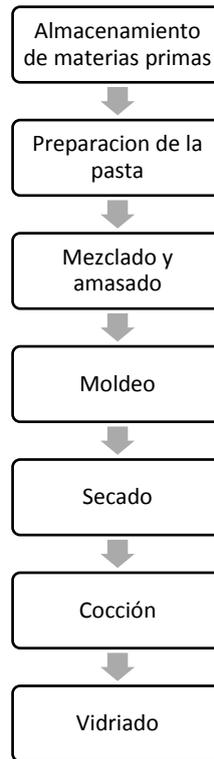


Figura 2.5 Proceso de elaboración de tejas.

Este proceso se lleva a cabo de forma similar para todos los semimecanizados con equipos electromecánicos, para el transporte de las materias primas se utiliza un cargadora compacta o en otros casos una carretilla, para disgregar los terrones grandes un molino de martillos, en el mezclado, amasado y moldeo una extrusora, para el secado instalaciones construidas por madera y plástico, para la cocción hornos artesanales. Los talleres de los artesanos se pueden representar mediante un diagrama simple como el de la Figura. 2.6. Donde los números representan; 1. Materias primas, 2.Zona de preparación de las pastas, 3 Molino de Rodillos, 4.Extrusora, 5. Zona de Secado de la teja, 6. Horno Artesanal, el color azul representan los equipos electromecánicos, y las líneas punteadas procesos de transporte.

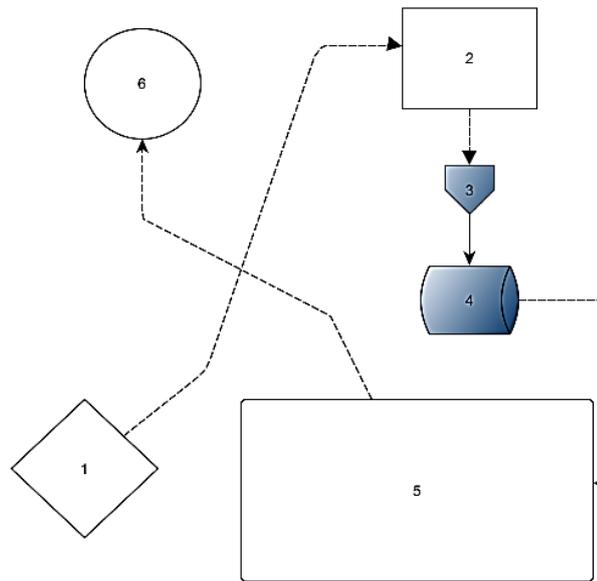


Figura 2.6 Plano simple de los talleres de los artesanos semimecanizados:
Fuente. El Autor.

2.1.3.1 MATERIAS PRIMAS.

Las materias primas usadas en la elaboración de tejas artesanales son arcillas comunes, provienen de varios yacimientos ubicados en los sectores de Santa Ana localizado a 11 km. al sureste del cantón Cuenca, Cumbe ubicada a 20 km. al suroeste del cantón Cuenca, y de sectores cerca de Racar como son Los Lirios, Buenos Aires y San Miguel, estas arcillas varían de color desde amarillas, rojizas, negras y blancas, estas variaciones de color se les puede atribuir a la presencia de impurezas en la mezcla de los minerales arcillosos como el óxido de hierro, óxido de titanio, nitratos y sulfuros, los carbonatos emigrados que son propias de cada zona de donde son extraídas las arcillas. Estas arcillas son utilizadas por los artesanos por varias razones, entre ellas su experiencia diaria en su labor con estos materiales así como la experiencia adquirida de sus antepasados, de esta manera son clasificados por su color, propiedades plásticas, por su quema a temperaturas relativamente bajas, y por dar pastas coloreadas tras la quema que son muy típicas de las tejas, este conocimiento empírico les ha ayudado a distinguir qué arcillas deben adquirir y cuáles no.



2.1.3.2 ALMACENAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Las distintas arcillas se almacenan en las entradas de los talleres de los artesanos que están instalados en parte de sus viviendas ver figura 2.7 es así que las arcillas se recolectan en pequeños cúmulos o en un solo montón al medio ambiente, los artesanos las cubren con un plástico que mantiene húmedas a las arcillas durante su almacenamiento, ya que así las arcillas están más predispuesta para su posterior moldeado.



Figura 2.7 Almacenamiento de arcillas.

2.1.3.3 PREPARACIÓN DE LA PASTA

Las arcillas almacenadas hay que convertirlas en una masa adecuada para la operación de moldeado de las tejas, para ello la pasta debe tener una buena consistencia y fluidez, esto dependerá de la preparación y la dosificación de los distintos materiales arcillosos, para ello los artesanos transportan el material del lugar donde lo almacenan a la zona de preparación de la pasta, para el transporte de las arcillas usan una cargadora compacta o carretillas. Los artesanos por experiencia saben la cantidad de material que deben colocar en la zona de preparación de la pasta, así cada artesano coloca según su conocimiento las distintas materias primas en diferentes proporciones, estas proporciones son medidas por el número de cargas de la pala de una mini cargadora o el número de carretillas. Los materiales se van colocando de tal manera que formen un pequeño montón para luego con un pico mover las arcillas fragmentando los terrones grandes y separar impurezas pétreas ver Figura 2.8, en esta etapa también se toma en cuenta la consistencia de la arcilla si está muy seca se moja con agua, luego se pasa con una pala a la tolva que va directo a un pequeño molino de rodillos.



Figura 2.8 Zona de preparación de las materias primas.

El molino de rodillos cumple la función de deshacer el material arcilloso y de triturar las impurezas pétreas en fracciones más pequeñas, permitiendo obtener una masa disgregada más homogénea para el posterior mezclado ver Figura 2.9. Una vez que el material pasa por este molino cae a una banda transportadora para su mezclado y amasado.



Figura 2.9 Molino de rodillos

2.1.3.4 MEZCLADO Y AMASADO.

El mezclado y el amasado de las arcillas se realizan en una extrusora, el mismo que está constituida por: 1 Mezcladora de tipo cubeta, 2 Ejes con paletas, 3 Garganta de alimentación, 4 Cilindro de extrusión, 5 Tornillo de extrusión, 6 Cabezal y molde, como se muestran en la figura 2.10, a continuación se describe el proceso de mezclado y amasado en las partes 1, 2, 3 de la extrusora.

1. Mezcladora de tipo cubeta: funciona de forma continua y está constituida de una cubeta de recepción de materia prima y de dos ejes con paletas que se encarga de recibir el material proveniente del molino de rodillos y mezclarlo.

2. Ejes con paletas: Son dos ejes que giran en sentido contrario y contiene paletas cuyo diseño permite llevar el material desde uno de sus extremos al otro mientras este es cortado, desmenuzado y volteado, entonces el material termina mezclado ver Figura 2.11.
3. Garganta de alimentación: Es de sección rectangular y posee paletas dispuestas sobre dos ejes giratorios que giran en sentido contrario ver Figura 2.12, estas paletas son gruesas y están muy unidas entre sí y su diseño permite asegurar el flujo constante de material hacia el cilindro extrusión, el rozamiento de la paleta con la masa de arcilla mejora la envoltura del agua que se forma alrededor de las partículas arcillosas, en este punto del proceso los artesanos se fijan en la consistencia de la masa y colocan agua con una jarra en el caso de que se encuentre seca, al final el material cae amasado al cilindro de extrusión.

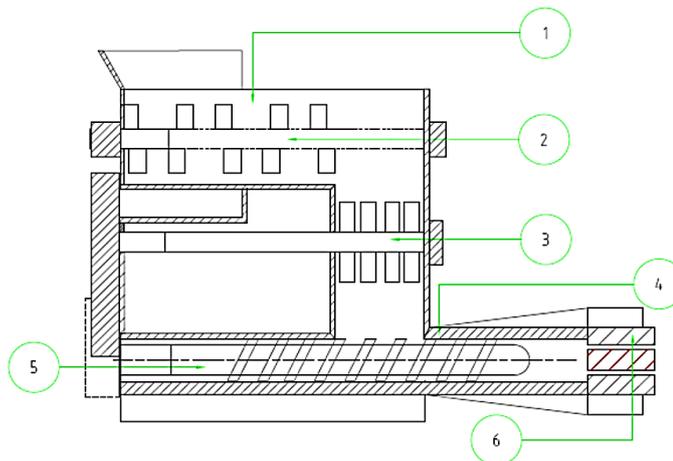


Figura 2.10 Extrusora utilizada por los artesanos semimecanizados. Fuente El Autor.



Figura 2.11 Mezclador de tipo cubeta continuo de la extrusora.



Figura 2.12 Garganta de alimentación.

2.1.3.5 MOLDEO POR EXTRUIDO.

El moldeado se realiza por extruido de la pasta, esto se realiza en la extrusora de la figura 2.10, y el proceso se realiza en las partes 4, 5, 6, de la siguiente manera.

4. Cilindro de extrusión: Es un cilindro en cuyo interior está el tornillo de extrusión, el material que cae desde la garganta de alimentación al interior del cilindro es arrastrado y presionado contra este durante todo su recorrido hacia el cabezal.
5. Tornillo de extrusión: Es un tornillo sin fin que gira en el interior del cilindro, y su función es transportar el material mientras lo roza contra las paredes internas del cilindro mejorando la uniformidad de la pasta y dotándola de mayor manejabilidad, también elimina burbujas de aire que puedan encontrarse en la pasta.
6. Cabezal: El cabezal se encuentra al final del cilindro y está sujetando al molde de sección transversal de teja, la pasta llega al final del cilindro por la aplicación de presión generada por el movimiento del tornillo de



extrusión, entonces la pasta es obligada a pasar por el cabezal prensador y a través del molde.

Luego de pasar por el molde la teja es cortado por una cuchilla de acero a la longitud de 35 cm, este proceso no es realizado por un mecanismo cortador es realizado por un artesano ver Figura 2.13, de esta manera la teja es retirada y es llevada a la zona de secado.



Figura 2.13 Corte de la teja.

2.1.3.6 SECADO.

Las piezas recién moldeadas si se cocieran inmediatamente se romperían, para que no suceda esto hay que someterlas al proceso de secado. Este proceso consiste en la eliminación de agua de forma lenta y gradual, para evitar alabeos y resquebrajamientos. Para este proceso los artesanos han construido unas instalaciones sencillas de madera con techos de plástico o de tejas, las instalaciones son de varias formas y tamaños ya que son realizadas sin ningún conocimiento técnico, en sus interiores se colocan las tejas de forma vertical y a una distancia adecuada para que el aire pueda circular entre ellas ver figura 2.14, las instalaciones con techo de plástico ayudan a conservar mejor el calor en el interior y crean un efecto de invernadero, los techos de tejas ayudan a proteger a las piezas en caso de lluvia. El tiempo de secado es de aproximadamente de 15 a 20 días dependiendo del clima.



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Figura 2.14 Secado de tejas.

2.1.3.7 COCCIÓN EN HORNOS ARTESANALES

Los hornos con los que cuentan los artesanos semimecanizados son hornos de diseños primitivos, son estructuras de sección circular o cuadrada fabricados de ladrillo ordinario y macizo colocados con barro, ver figura 2.15, no poseen revestimiento interno y las paredes del horno son sujetadas con alambres para evitar su dilatación y contracción brusca durante la quema, poseen una o dos bocas para la entrada de combustible que es la leña. La entrada de las tejas o piezas cerámicas a quemar se realiza por la parte superior del horno y se tapa con tejas rotas o piezas dañadas, la base está formada por arcos de ladrillo macizo. Son de bajo rendimiento debido al limitado poder calorífico de la leña, y de escasa eficiencia por causa de las fugas de calor, aun así este es capaz de alcanzar temperaturas que funden los esmaltes de baja temperatura como los de plomo, pero al interior del horno las temperaturas son bastante irregulares.



Figura 2.15 Horno artesanal de sección cuadrada.



La colocación de las tejas o carga del horno se realiza de la siguiente manera: se ubican las tejas sobre una meza de ladrillos macizos de forma vertical separadas ligeramente unas de otras, de forma que permita el paso de los gases calientes de forma ascendente, ver figura 2.16.



Figura 2.16 Colocación de las tejas en el interior del Horno artesanal de sección circular.

Una vez cargado el horno se procede al cierre del mismo, se coloca encima de la última capa de tejas cacharros o piezas rotas de tejas con adobe, luego se procede a cerrar con adobe todas las posibles fuentes de fugas o aberturas que tenga el horno, se enciende el horno colocando ramas pequeñas y leños medianos en el interior de la boca del horno, se continúa con la colocación de leños más grandes para mantener el fuego ver Figura 2.17, en esta etapa de precalentamiento del horno el calor es usado en calentar las paredes del horno y los arcos, luego es utilizado para las reacciones de sinterización de la pieza cerámica por lo que se requiere una carga continua de leña, una vez culminado este periodo de cocción o cochura se debe apagar el horno y enfriarlo, el enfriamiento del horno debe ser lento ya que las piezas están calientes y cualquier cambio brusco produce tensiones que pueden agrietar las piezas, esto puede suceder inmediatamente o después de los primeros días de haber sacado las piezas del horno, para evitar este riesgo los artesanos esperan alrededor de 6 días hasta que se enfríen las piezas en el horno, para esto cierran con barro las bocas del horno y todas las posibles fugas. Una vez que el horno este frío



las piezas se extraen por la parte superior y son colocadas cerca del horno para la etapa de vidriado.



Figura 2.17 Encendido del horno.

2.1.3.8 VIDRIADO DE TEJAS

El proceso de vidriado consiste en colocar una capa fina de vidrio sobre la superficie de teja bizcochada, este vidrio se aplica en forma de suspensión con agua y siempre se lo coloca en el lomo de la teja, la función que cumple el vidrio sobre la teja es el de mejorar su impermeabilidad, su aspecto físico, mejorar su resistencia física y hacerlo más suave al tacto.

2.1.3.9 PREPARACIÓN DEL ESMALTE PARA TEJAS POR PARTE DE LOS ARTESANOS SEMIMECANIZADOS.

Para lograr el vidriado los artesanos proceden a la preparación de su esmalte, usan el óxido de plomo y el sulfato de plomo que son extraídas de las baterías usadas de los automóviles, esto lo mezclan con una porción de sílice o arcilla del sector y agua, agitan con una vara en un recipiente o caneca de pintura hasta obtener una consistencia adecuada, una vez preparado el vidrio se lo va colocando sobre la teja bizcochada con la ayuda de una jarra o algún recipiente pequeño, el proceso tarda alrededor de 1 día, luego de que todas las piezas estén listas se espera a que el vidrio se seque y se procede a colocar dentro del horno.

2.1.3.10 COCCIÓN DE TEJAS VIDRIADAS

La manera en que se colocan las tejas en el interior del horno es de forma vertical, de igual manera que en el caso de la primera quema se cierra todas



la posibles fugas y se tapa el horno con piezas rotas y se prende el horno, la cocción en esta etapa dura alrededor de 2 días y se llega a temperaturas de 800 o 850 °C. La extracción de las piezas vidriadas se lo realiza cuando el horno esta frio por la parte superior del mismo y se van colocando las piezas a la salida de los talleres para su venta ver Figura 2.18.



Figura 2.18 Descarga y almacenamiento de las tejas vidriadas del horno artesanal.

2.2 HORNO DE TIRO INVERTIDO

La fundación suiza Swisscontac con el proyecto EELA de eficiencia energética en ladrilleras artesanales, y con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental provocada por los hornos artesanales de tiro abierto, ha diseñado y construido un horno de tiro invertido, este horno posee un mejor rendimiento energético a comparación con los hornos artesanales (EELA, Manual de construcción del horno de tiro invertido , 2013). El horno de tiro invertido fue construido en Cusco Perú los planos del horno se encuentran en A3.1, se realizaron las pruebas de validación en Cusco, una vez realizadas estas pruebas como lo indica (EELA, Horno modelo cusco peru, n/a) el horno fue replicado en las zonas artesanales de Cuenca, así se realizó la primera replica en la zona de Racar. Pero el horno replicado en Racar no posee las mismas dimensiones que el horno de Cusco ni está construido del mismo material.



2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO.

- **Estructura:** El horno está construido de paredes de ladrillo ordinario adheridos con cemento o adobe, columnas de hormigón, una chimenea construida con planchas metálicas. Ver Figura 2.19



Figura 2.19 Horno de tiro invertido

- **Composición del horno:** El horno está compuesto de: cúpula, chimenea, entrada de la carga cerámica, ductos de purga, bocas de alimentación de combustible, ventilador, ductos de aire, termocuplas, como se muestra en la Figura 2.20. la cúpula se encarga de distribuir el calor hacia la carga cerámica y de producir el efecto de tiro invertido, la chimenea se encarga de evacuar los gases calientes, los ductos de purga son utilizados para evacuar el vapor en las etapas iniciales de la quema, las bocas de alimentación de combustible se ubican a los costados, al frente y atrás del horno, el ventilador suministra aire por medio de los ductos de aire a las bocas de combustión de manera continua, las termocuplas miden la temperatura en el interior del horno, una se encuentra en la parte media del horno y otra en la cúpula.

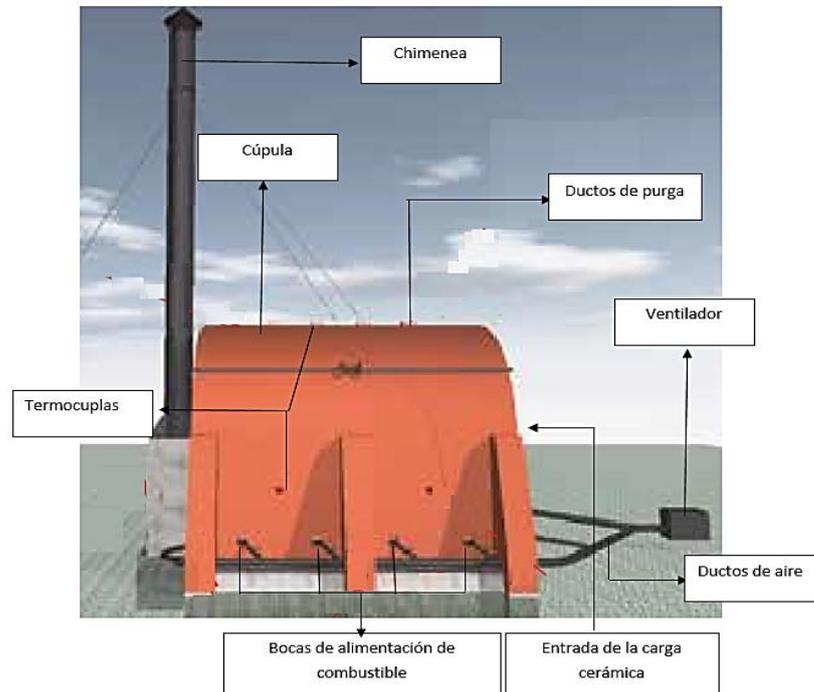


Figura 2.20 Composición del Horno de tiro invertido.

- **Sistema de combustión:** El sistema de combustión está formado por las bocas de alimentación de combustible, ductos de aire y ventilador. Las bocas de alimentación se ubican en las paredes laterales, frontales y traseras del horno, siendo 4 en una pared lateral y 4 en la otra, 2 en la parte frontal y 2 en la parte trasera, estas bocas tienen forma abocinada que favorece la combustión, este horno utiliza combustible sólido en específico utiliza la madera, el tipo de madera es eucalipto, pino, residuos de construcción, aserrín, la alimentación del mismo se realiza de forma lenta y gradual. La velocidad del flujo de aire debe ser 3m/s, el ventilador posee un regulador principal de aire que permite regular el flujo. (Gavilanez, 2015)
- **Función de la cúpula Horno de tiro invertido:** La cúpula del horno permite que los gases calientes de la combustión provenientes de las bocas de alimentación tanto de las paredes laterales como frontales y traseras se acumulen y sean obligados a descender por el medio de la carga cerámica y terminen en el ducto que conduce hacia la



chimenea como se observa en la figura 2.21, esto permite que el calor se mantenga el mayor tiempo posible en el interior del horno.

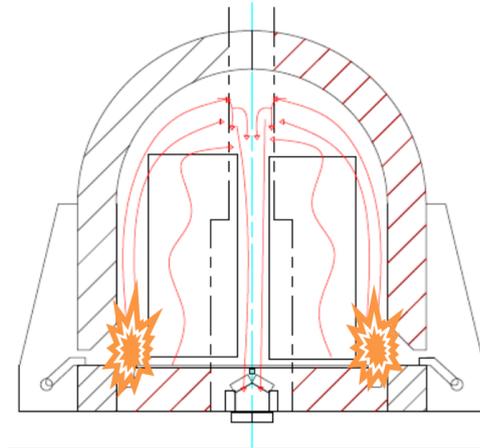


Figura 2.21 Horno de tiro invertido y el flujo de gases.

2.2.2 DIMENSIONES DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO.

El horno mide 4.6 m de ancho sin los soportes, 4.95 de alto y 6 m de largo. Las dimensiones del interior del horno se muestran en la tabla 2.3. En la figura 2.22 se observa el interior del horno de tiro invertido.

Interior del horno	Dimensiones (m)
Ancho	3.57
Largo	5.08
Altura	3.85
Altura hasta el inicio de la cúpula	2.15
Radio de la cúpula	1.8

Tabla 2.3 Dimensiones del interior del horno. Fuente (Gavilanez, 2015)

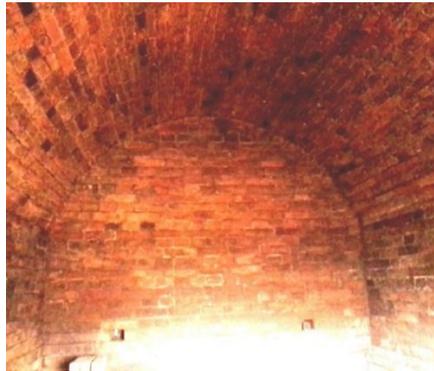


Figura 2.22 Imagen del interior del horno de tiro invertido. Existe en el horno una entrada para la carga cerámica cuyas dimensiones se muestran en la tabla 2.4.

Puerta de entrada	Dimensiones (m)
Ancho	0.8
Alto	1.6

Tabla 2.4 Dimensiones de la puerta de ingreso de la carga cerámica al horno.

Las dimensiones de los ductos de purga que se encuentran en la cúpula del horno, se encuentran en la tabla 2.5

Ductos de purga	
Ubicación	parte superior del horno
Numero	4
Dimensiones	20x24cm
Separación desde la pared	85 a 90 cm
Distancia entre ductos	75cm

Tabla 2.5 Ductos de purga

Las dimensiones de las bocas alimentación para el combustible y comburente se muestran en la tabla 2.6. y en la figura 2.23 se observa las bocas alimentación del combustible.



Bocas de combustión del horno		
Ubicación	Numero	Dimensión (cm)
Lado derecho	4	25x30
Lado izquierdo	4	25x30
Adelante	2	25x35
Atrás	2	25x35
Total	12	

Tabla 2.6 Bocas de combustión sus dimensiones y ubicación.



Figura 2.23 Bocas laterales del horno de tiro invertido.

Los ceniceros se encuentran ubicados a lo largo de las bocas de combustión y tiene 20cm de alto por 25 de ancho. La chimenea mide 12m de alto y 0.6 m de diámetro.

2.2.3 CAPACIDAD DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO REPLICADO.

El horno de tiro invertido posee un volumen total interno de 64.845m^3 pero este volumen no se puede llenar completamente ya que se debe dejar un espacio para la circulación de los gases caliente productos de la combustión, este volumen a ocupar también depende del tipo de pieza cerámica a quemar, en forma general se debe dejar un espacio entre las paredes laterales y la carga de 30 cm y entre las paredes frontales y posteriores de 20 cm, entre la cúpula y la última fila de ladrillo se debe dejar un espacio comprendido entre 0.8 m a 1 m, para estas restricciones el horno tiene una capacidad aproximada de 5000 ladrillos de tipo tochano, las dimensiones de este ladrillo son 19.5 cm ancho, 38.5 cm de largo y 10 cm de alto (Gavilanez, 2015).



2.2.4 MONITOREO DE TEMPERATURAS EN EL HORNO DE TIRO INVERTIDO

El monitoreo de horno presentado por (EELA, 2010), se muestra en la Figura 2.24, este monitoreo fue realizado con el horno construido en Cusco Perú. El monitoreo de temperaturas fue realizado con las termocuplas instaladas en su interior, una en la parte media del horno y otra en la cúpula.

Se muestra en la Figura 2.24 que el horno llega a una temperatura de 1000 °C en un tiempo de 16 horas para una arcilla propia de la zona de Cusco, también se muestran las zonas típicas de cocción de esta arcilla, donde la zona A.- se observa un aumento de la temperatura en fase de precalentamiento desde la temperatura ambiente hasta los 200°C en 5 horas, Zona B.- Aumento rápido de temperatura desde los 200°C a los 600°C en 4 horas, Zona C.- Estacionamiento de la temperatura a 600°C en un tiempo de 1 hora, Zona D.- Aumento rápido de temperatura hasta los 1000°C en 4 horas, Zona E.- mantenimiento de la temperatura a 1000°C durante 2 horas. En la Tabla 2.7 se muestra los rangos de temperatura de este monitoreo.

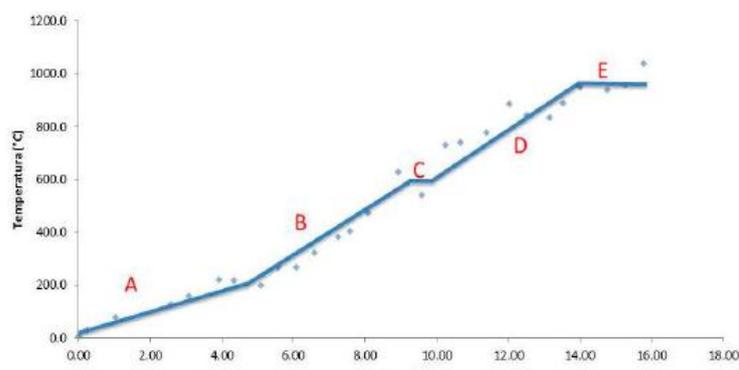


Figura 2.24 Diagrama de cocción tiempo temperatura del horno de tiro invertido de Cusco Perú. Fuente (EELA, 2010)

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	0-200	5
B	200-600	4
C	600-600	1
D	600-1000	4
E	1000-1000	2
	Total	16

Tabla 2.7 Rangos de temperatura de quema en el horno de tiro invertido Fuente (EELA, 2010)



CAPÍTULO 3

3.1 ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTO ELABORADO

Con el propósito de conocer las materias primas y los productos terminados de los artesanos semimecanizados, se realizó la caracterización de las materias primas o arcillas más utilizadas por este grupo de artesanos, como también se realizaron ensayos físicos-mecánicos de las tejas producidas, y al final el análisis químico de los esmaltes usados en el vidriado, también se realizó el análisis químico de las fritas presentes en el mercado. Estos análisis sirven de base para el diseño de mezclas.

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS ARCILLOSAS

En el capítulo 2 se realizó un análisis de las encuestas en donde se encontró que las arcillas más utilizadas en la dosificación de las pastas para tejas eran las arcillas: Cera, Roja de Cumbe, Roja de Buenos Aires, Arenosa de Buenos Aires, Arenosa de San Miguel, Morada, se caracterizaron estas materias primas.

3.1.1.1 PLASTICIDAD.

El método de Atterberg determina el intervalo de humedades en que la arcilla es trabajable. Para ello, define un Índice de plasticidad como la diferencia entre las humedades que posee el material en el límite líquido, o humedad por encima de la cual la masa no tiene suficiente consistencia para ser moldeable, y el límite plástico, o porcentaje mínimo de agua para hacer moldeable la arcilla sin que se produzcan grietas. Esto se puede expresar de la siguiente forma matemática:

$$IP = LL - LP \quad [3.1]$$

Donde:

IP=Índice de plasticidad=Intervalo de humedad a la cual la arcilla es manejable.



LL= Limite líquido=Humedad en la cual la arcilla tiene consistencia fluida.

LP=Limite plástico=Humedad mínima a la cual la arcilla es moldeable.

Para la determinación del índice de plasticidad se procedió a realizar la determinación del límite líquido por medio de un método conocido como de Casa Grande ver Anexo A3.1, para el limite plástico se procedió como se indica en A3.2, los cálculos para el Índice de plasticidad de este ensayo se encuentran en A3.3, y en la Tabla 3.1 se encuentran las materias primas con sus nombres locales y los índices de plasticidad de cada material ordenada de mayor a menor.

ARCILLA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
Cera	53,35	27,86	25,49
Roja de Buenos Aires	41,55	25,86	15,69
Arenosa de San Miguel	31,80	19,67	12,13
Roja de Cumbe	31,20	20,48	10,72
Arenosa de Buenos Aires	37,5	28,22	9,28
Morada	27,8	20,67	7,12

Tabla 3.1 Índice de plasticidad de las materias primas utilizadas por los semimecanizados. Fuente: El Autor.

3.1.1.2 CONTRACCIÓN AL SECADO

La contracción al secado es la pérdida de tamaño de una masa plástica de arcilla al ser secada lenta y de forma gradual, la disminución de volumen es debida a la merma de agua de contracción que se encuentra entre los huecos e intersticios entre partículas de arcilla. Este fenómeno se representa en forma porcentaje de contracción al secado y está dada por la siguiente fórmula.

$$\%Cs = \frac{(l_0 - l_f)}{l_0} * 100 \quad [3.2]$$

Donde:

Lo= longitud inicial.



Lf=longitud final.

%C= porcentaje de contracción al secado.

El procedimiento para realizar contracción al secado se muestra en el Anexo A3.4 y exige que el material pase por un número de tamiz específico. Los artesanos semimecanizados no trabajan con material pasante un determinado número de tamiz por lo que había que encontrar éste con ensayos de laboratorio, para esto se procedió a realizar ensayos con la pasta de los semimecanizados, se realizaron pruebas de contracción al secado en placas con el material pasado el tamiz de malla 8, malla 20 y sin pasar por ninguna malla o se la pasta original, se compararon los resultados y se determinó que el porcentaje de contracción al secado del tamiz número 8 se asemeja a la contracción al secado de la pasta original de los artesanos semimecanizados; una vez encontrado este dato se procedió a realizar los ensayos con este número tamiz. El procedimiento y los cálculos de este ensayo se encuentran en el A 3.4, los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla 3.2, en la Figura 3.1 se muestran las placas realizadas para este ensayo.

Arcillas	% De Contracción al secado
Cera	14,88
Arenosa de Buenos Aires	10,22
Roja de Buenos Aires	10,22
Arenosa de San Miguel	8,36
Roja de Cumbe	6,33
Morada	5,37

Tabla 3.2 Contracción al secado de las materias primas usadas por los semimecanizados de Racar y San Sebastián.



Figura 3.1 Placas realizadas con las arcillas utilizadas por los artesanos semimecanizados, para medir contracción al secado

3.1.1.3 CONTRACCIÓN A LA QUEMA

Es la disminución del tamaño de una pasta cocida por acción del calor, esto se debe a los cambios químicos producidos en las etapas finales de la cocción.

Con el fin de simular las condiciones a las que los artesanos semimecanizados trabajan, se realiza dos quemas, la primera quema o bizcocho llega a 850°C y el ciclo de quema se muestra en el Anexo A3.5, la fórmula para encontrar el porcentaje de contracción a la primera quema se muestra en la ecuación 3.3, y en la Tabla 3.3 se encuentran los resultados.

$$\%Cq1 = \frac{(l_s - l_b)}{l_b} * 100 \quad [3.3]$$

Donde:

Lb = Longitud de la marca después de la primera quema.

Ls = Longitud de la marca tras el secado.



CQ = Contracción a la primera quema.

La segunda quema para el vidriado se realizó a 1000 °C y cuyo ciclo de quema se encuentra en el A3.5, este ciclo se basa en la curva de cocción de la Figura 2.24 del capítulo 2 de la sección 2.6.4 del horno de tiro invertido, los resultados de las contracciones a la segunda quema se muestran en la Tabla 3.4, y la fórmula para calcular esta contracción se muestra en la ecuación 3.4. En la Figura 3.2 se muestran las placas quemadas a la temperatura de 1000 °C.

$$\%Cq2 = \frac{(l_b - l_v)}{l_v} * 100 \quad [3.4]$$

Donde:

Lv = Longitud de la marca después de la segunda quema.

Lb = Longitud de la marca tras la primera quema.

CQ = Contracción a la segunda quema.

Arcillas	Contracción a la quema (850)
Cera	2,88
Arenosa de Buenos Aires	0,52
Arenosa de San Miguel	0,21
Roja de Buenos Aires	-0,01
Morada	-0,1
Roja de Cumbe	-0,35

Tabla 3.3 Contracción a la primera quema a la temperatura de 850 °C.

Arcillas	Contracción a la quema (1000)
Cera	4,38
Arenosa de Buenos Aires	1,24
Roja de Buenos Aires	1,04
Roja de Cumbe	0,65
Arenosa de San Miguel	0,57
Morada	0,29

Tabla 3.4 Contracción a la segunda quema a la temperatura de 1000 °C.



Figura 3.2 Placas quemadas a la temperatura de 1000°C

3.1.1.4 CONTRACCIÓN TOTAL.

Es el resultado de sumar las contracciones al secado y a la quema, en nuestro caso de sumar las contracciones al secado, y a la segunda quema, esto se expresa de la siguiente forma matemática.

$$C_t = C_s + C_{q2} \quad [3.5]$$

Donde:

C_t= contracción total.

C_s= contracción al secado.

C_{q1}= contracción a la primera quema (850°C).

C_{q2}= contracción a la segunda quema (1000°C).

En la tabla 3.5 se muestra estos resultados con cada uno de los materiales ordenados de mayor a menor.



Arcillas	Contracción al secado	%Contracción a la quema 1000 °C	Contracción total
Cera	14,88	4,38	19,26
Arenosa de Buenos Aires	10,22	1,24	11,46
Roja de Buenos Aires	10,22	1,04	11,26
Arenosa de San Miguel	8,36	0,57	8,93
Roja de Cumbe	6,33	0,65	6,98
Morada	5,37	0,29	5,66

Tabla 3.5 Contracción total de las arcillas usadas por los semimecanizados.

3.1.1.5 GRANULOMETRIA

Su finalidad es determinar las proporciones de las partículas gruesas o finas que se hallan presentes en una muestra de arcilla, el método consiste en hacer pasar la muestra de arcillas a través de una serie de tamices, para esta tesis se realizó el ensayo según el método húmedo - seco como se indica en el A 3.6, los cálculos se encuentran en este mismo anexo, los resultados obtenidos se muestran en las tablas 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, y 3.11.

Arcilla	Cera				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	0,69	0,35	0,35	99,65
20	0,85	1,11	0,56	0,90	99,10
40	0,43	1,55	0,78	1,68	98,32
80	0,18	1,78	0,89	2,57	97,43
100	0,15	0,39	0,20	2,76	97,24
200	0,07	2,63	1,32	4,08	95,92
325	0,0445	2,51	1,26	5,33	94,67
<325		189,33	94,67	100,00	0,00
Total		199,99	99,995		
Pérdidas		0,01	0,005		

Tabla 3.6 Granulometría de la Arcilla Cera.



Arcilla	Arenosa de Buenos Aires				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
8	2,36	2,55	1,28	1,28	98,72
20	0,85	3,21	1,61	2,88	97,12
40	0,43	3,12	1,56	4,44	95,56
80	0,18	5,12	2,56	7,00	93,00
100	0,15	1,38	0,69	7,69	92,31
200	0,07	6,16	3,08	10,77	89,23
325	0,0445	4,57	2,29	13,06	86,94
<325		173,88	86,94	100,00	0
Total		200,0	100,00		
Pérdidas		0,0	0,00		

Tabla 3.7 Granulometría de Arcilla Arenosa de Buenos Aires.

Arcilla	Arenosa de san miguel				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
8	2,36	7,79	3,90	3,90	96,09
20	0,85	9,15	4,58	8,47	91,52
40	0,43	9,16	4,58	13,05	86,94
80	0,18	13,67	6,84	19,89	80,10
100	0,15	2,66	1,33	21,22	78,77
200	0,07	12,15	6,08	27,29	72,70
325	0,04	8,08	4,04	31,33	68,66
<325		137,31	68,66	99,99	0,00
Total		200,0	100,0		
Pérdidas		0,0	0,0		

Tabla 3.8 Granulometría de Arcilla Arenosa de San Miguel.



Arcilla	Roja de cumbe				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	4,82	2,41	2,41	96,83
20	0,85	8,13	4,07	6,48	92,76
40	0,43	8,76	4,38	10,86	88,38
80	0,18	17,70	8,85	19,71	79,53
100	0,15	4,79	2,40	22,10	77,14
200	0,07	19,88	9,94	32,04	67,20
325	0,0445	8,92	4,46	36,50	62,74
<325		125,47	62,74	99,24	0,00
Total		198,5	99,24		
Pérdidas		1,53	0,765		

Tabla 3.9 Granulometría de Arcilla Roja de Cumbe.

Arcilla	Morada				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	2,28	1,14	1,14	98,80
20	0,85	4,28	2,14	3,28	96,66
40	0,43	4,17	2,09	5,37	94,58
80	0,18	7,16	3,58	8,95	91,00
100	0,15	1,76	0,88	9,83	90,12
200	0,07	8,71	4,36	14,18	85,76
325	0,04	5,39	2,70	16,88	83,07
<325		166,13	83,07	99,94	0,00
Total		199,88	99,94		
Pérdidas		0,12	0,06		

Tabla 3.10 Granulometría de Arcilla Morada.



Arcilla	Roja de Buenos Aires				
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	1,30	0,65	0,65	99,35
20	0,85	3,01	1,51	2,16	97,85
40	0,43	3,40	1,70	3,86	96,15
80	0,18	7,60	3,80	7,66	92,35
100	0,15	1,83	0,92	8,57	91,43
200	0,07	8,42	4,21	12,78	87,22
325	0,0445	5,69	2,85	15,63	84,38
<325		168,75	84,38	100,00	0,00
Total		200,00	100,00		
Pérdidas		0,00	0		

Tabla 3.11 Granulometría de la Arcilla roja de buenos aires.

Para una mejor comprensión de estas tablas se relacionan estos resultados en una sola gráfica donde se muestran las curvas granulométricas de cada una de las arcillas, en el eje x se tiene la abertura del tamiz en escala logarítmica y en el eje y se tiene el porcentaje de material que pasa dicha malla, como se muestra en la Figura 3.3.

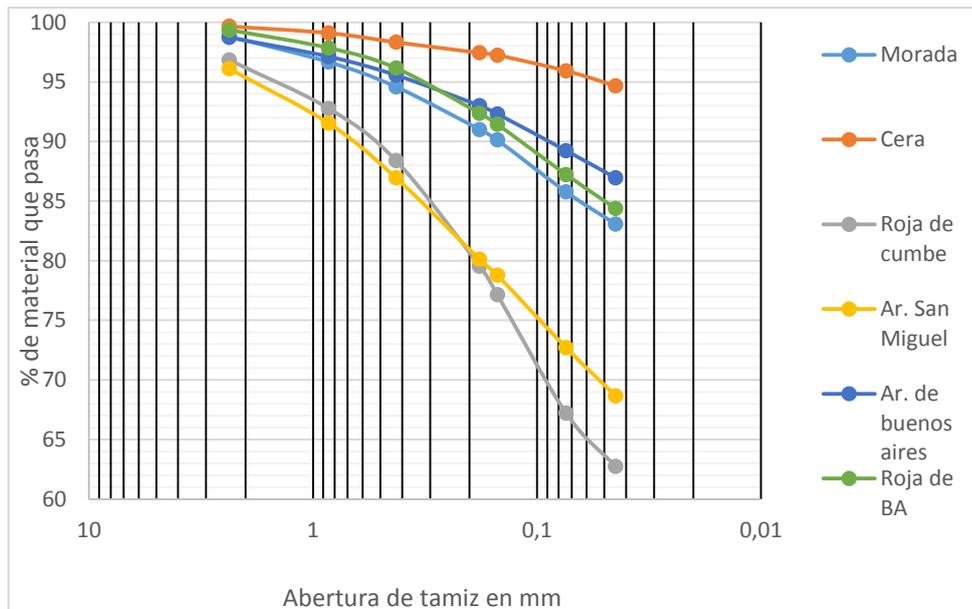


Figura 3.3 Curvas granulométricas de cada uno de las arcillas.



3.1.1.6 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARCILLAS

Se realizaron los análisis químicos por el método de fusión con hidróxidos, extracción ácida, espectroscopia de absorción atómica que pertenece al procedimiento interno del CESEMIN, el reporte de resultados presentados por el CESEMIN se indica en el A 3.7 y la tabla 3.12 muestra los porcentajes de los óxidos que se hallan presentes en las arcillas utilizadas por los semimecanizados.

%ÓXIDOS	ROJA DE BUENOS AIRES	ROJA DE CUMBE	ARENOSA DE BUENOS AIRES	ARENOSA DE SAN MIGUEL	MORADA	CERA
SiO ₂	62,23	66,83	64,76	68,89	59,7	56,19
Al ₂ O ₃	20,11	17,63	17,09	16,47	24,52	24,49
Fe ₂ O ₃	7,09	6	5,82	5,04	7,06	4,98
CaO	0,19	0,19	0,18	0,51	0,01	0,28
MgO	0,31	0,64	0,62	0,41	0,28	0,41
Na ₂ O	0,13	0,21	0,09	0,26	0,23	0,11
K ₂ O	0,28	0,35	0,13	0,2	0,33	0,08
P.F	9,48	7,63	11,32	8,22	7,37	13,45
total	99,82	99,48	100,0	100	99,5	100,0

Tabla 3.12 Análisis químicos de las materias primas. Fuente: CESEMIN.

3.1.1.7 ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS VIDRIOS USADOS POR LOS ARTESANOS.

Tanto los artesanos como los semimecanizados usan en la dosificación de sus esmaltes el óxido de plomo como se indicó en los análisis de las encuestas en el Capítulo 2, los análisis químicos comprueban estos resultados, como se puede observar en la Tabla 3.13. El método para este ensayo fue el mismo que para las arcillas, y se muestra el reporte presentado por el CESEMIN en la A 3.8. En la Tabla 3.13 se observan los códigos ARO1 que pertenecen a los vidrios artesanales y ARO2 que pertenecen a los semimecanizados.



%Óxidos	ARO1	ARO2
SiO ₂	7,1	18,72
Al ₂ O ₃	2,35	2,55
Fe ₂ O ₃	0,13	0,32
CaO	0,25	0,24
MgO	0,03	0,05
Na ₂ O	0	0
K ₂ O	0	0,01
PbO	65,27	62,91
P.F	17,12	8,27
total	92,25	93,07

Tabla 3.13 Análisis químicos de los vidrios usados por los artesanos y semimecanizados. Fuente: CESEMIN.

3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS TERMINADOS.

Se tomaron muestras de tejas realizadas por los semimecanizados en la salida de la extrusora para los ensayos de plasticidad, contracción y granulometría, también se tomaron muestras de tejas bizcochadas y vidriadas para los ensayos de absorción de agua y de resistencia a la flexión.

3.1.2.1 PLASTICIDAD DE LA PASTA SEMIMECANIZADOS.

El procedimiento del ensayo para la plasticidad es el mismo que para las materias primas, los cálculos de este se muestran en el A 3.3, en la Tabla 3.14 se muestra los resultados de este ensayo.

PASTA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
Semimecanizados	34,80	21,07	13,73

Tabla 3.14 Plasticidad de la pasta semimecanizados.

3.1.2.2 CONTRACCIÓN TOTAL DE LA PASTA SEMIMECANIZDOS.

Para obtener la contracción total se obtuvo la contracción al secado, la contracción a la primera quema y a la segunda quema, el procedimiento para estos ensayos fueron los mismos que para las materias primas, los cálculos para la pasta se encuentran en el A 3.4, los resultados se muestran en la Tabla 3.15.



Pasta	Contracción al secado	Contracción a la quema (850°C)	Contracción a la quema (1000°C)	Contracción total.
Semimecanizados	9,95	0	0,28	10,23

Tabla 3.15 Contracción total de la pasta semimecanizada.

3.1.2.3 GRANULOMETRIA DE PASTA SEMIMECANIZADA.

Para obtener la granulometría de la pasta semimecanizada se procedió de igual manera que con las materias primas obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 3.16 y la curva granulométrica en la Figura.3.4

Pasta Semimecanizada					
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	1,83	0,92	0,92	99,09
20	0,85	7,10	3,55	4,47	95,54
40	0,43	7,78	3,89	8,36	91,65
80	0,18	9,26	4,63	12,99	87,02
100	0,15	2,16	1,08	14,07	85,94
200	0,07	12,10	6,05	20,12	79,89
325	0,04	8,74	4,37	24,49	75,52
<325		151,03	75,52	100,0	0,00

Total		200,00	100,0
Pérdidas		0,00	0

Tabla 3.16 Granulometría de la pasta semimecanizada.

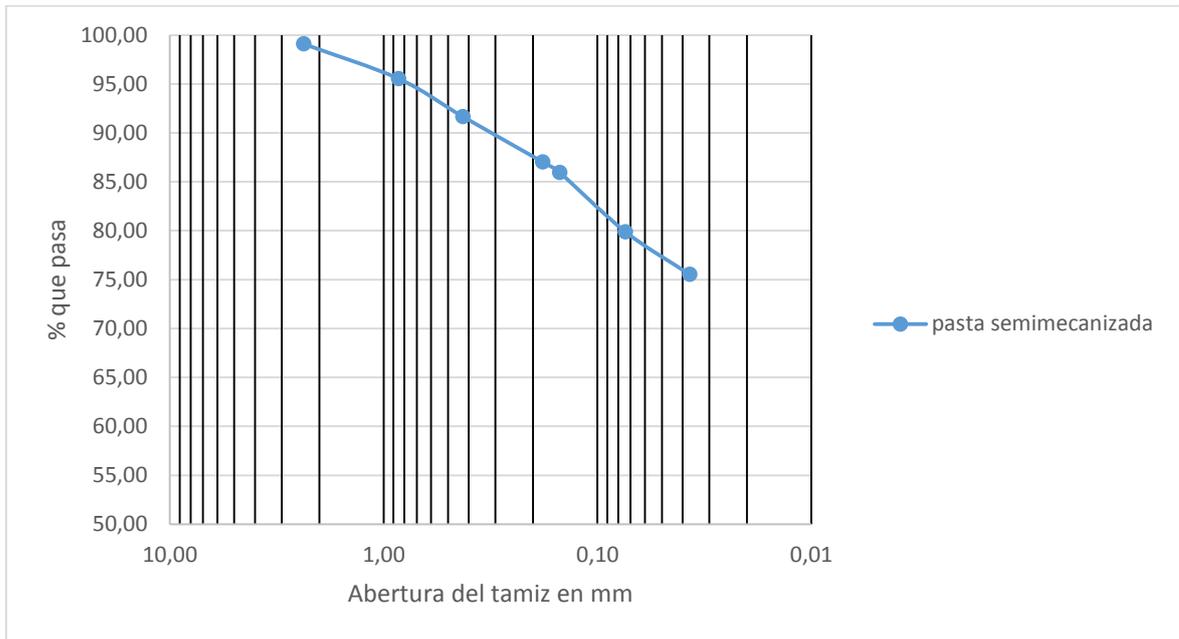


Figura 3.4 Curva granulométrica de pasta semimecanizada.

3.2 REQUISITOS PARA TEJAS.

Las tejas han sido categorizadas según Norma INEN 990 como se muestra en la Tabla 3.17 y los requisitos para éstas se muestran en las Tablas 3.18 y 3.19

Tipo de teja	
A	La teja común curva
B	La teja común plana
C	La teja vidriada curva
D	La teja vidriada plana

Tabla 3.17 Categorización de las tejas según Norma INEN 990.

Resistencia a la flexión	Kg/cm^2	Kg/cm^2
Tipo de teja	Promedio de cinco tejas	Mínimo para una teja cualquiera
A	100	80
B	70	55
C	100	80
D	70	55

Tabla 3.18 Requisitos para la resistencia a la flexión de tejas según Norma INEN 0990.



	% absorción de agua	% absorción de agua
Tipo de teja	Promedio de cinco tejas	Mínimo para una teja cualquiera como máximo
A	18	20
B	20	22
C	12	14
D	14	16

Tabla 3.19 Requisitos para la resistencia a la flexión de tejas según Norma INEN 0990.

Para esta tesis se toma las siguientes categorías: para la teja semimecanizada curva se denomina con la letra mayúscula A y para la teja vidriada semimecanizada con la letra C, aunque estas tejas no cumplan con las dimensiones especificadas en la norma INEN 0990, son las que más se asemejan a esa categoría.

3.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Es la medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras, las fuerzas de este tipo provoca una deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal y se denomina flexión. El concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas. La resistencia a la flexión está dada por el momento máximo de inercia por la distancia entre el punto central de la placa a sus fibras externas dividida para su momento de inercia de la sección transversal como indica la ecuación 3.5.

$$\sigma = \frac{M * a}{I} \quad [3.5]$$

Donde:

σ =resistencia de flexión.

M= momento máximo de inercia.

a= distancia desde el centro de la probeta hasta sus fibras externas.

I= momento de inercia de la sección transversal.



Los ensayos de resistencia a la flexión de tejas se realizaron de acuerdo a la Norma INEN 0988, los resultados de este ensayo para las tejas semimecanizadas se encuentra en la tabla 3.20

Tipo de teja	Carga Roturo Kgf
A	46,51
C	49,29

Tabla 3.20 Carga a la rotura de tejas semimecanizadas. Fuente. Laboratorio de mecánica de suelos Ingeniería. Civil.

Los ensayos fueron realizados en los laboratorios de mecánica de suelos de la facultad de Ingeniería Civil, el reporte emitido para estos ensayos se muestran en A3.9.

3.2.2 ABSORCIÓN DE AGUA

Es el porcentaje de volumen vacío de una pieza cocida dictada por su grado de vitrificación o gresificación, este ensayo se realiza al pesar la pieza cocida (P_o), luego se inunda con agua hirviendo durante una hora y se pesa (P_i), la ganancia de peso expresada en porcentaje se conoce como índice de absorción de agua y representa una red continua de conductos capilares que se comunican entre sí, esto se expresa de la siguiente forma matemática.

$$\% \text{absorción} = \frac{(P_i - P_o)}{P_o} * 100 \quad [3.6]$$

Donde:

P_i = peso de la pieza húmeda gr.

P_o = peso de la pieza seca en gr.

De este ensayo se derivan varias propiedades técnicas como resistencia mecánica a los esfuerzos, al desgaste, dureza, impermeabilidad. Este ensayo se determinó como indica la Norma INEN 989, Los resultados se muestran en la tabla 3.21

Tipo de teja	% absorción
A	18,40
C	17,72

Tabla 3.21 Porcentaje de absorción de agua de tejas semimecanizadas.



3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La caracterización de las materias primas realizadas en éste capítulo nos permite comprender y clasificar las materias primas arcillosas utilizadas por los semimecanizados, ahora debemos inferir sobre las propiedades de estas materias primas para el diseño de mezclas.

A continuación se llevará a cabo un análisis de la caracterización de las materias primas, para el caso del índice de plasticidad se realizó el diagrama de casa grande que se muestra en la Figura 3.5 , en este diagrama se puede observar de forma delimitada por unas líneas verticales las arcillas de baja, media y alta plasticidad, de acuerdo a esto se observa que las arcilla Morada es de baja plasticidad, las arcillas Arenosa de San Miguel y Roja de Cumbe son de mediana plasticidad y se ubican en el diagrama muy cerca la una de la otra, las arcillas Arenosa de Buenos Aires y Roja de Buenos Aires son consideradas como arcillas limosas inorgánicas y orgánicas de mediana compresibilidad, por último la arcilla Cera se ubica en las arcillas de alta plasticidad.

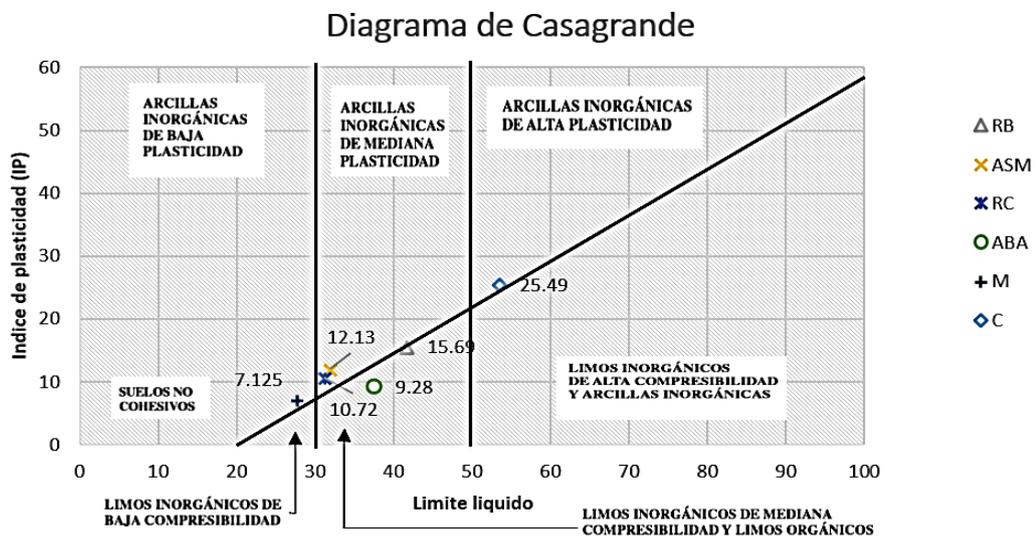


Figura 3.5 Diagrama Casagrande.

Si se clasifican las materias primas de acuerdo a la granulometría se tiene de la Figura 3.4, el porcentaje de material que pasa cada abertura de cada malla, el material con un gran porcentaje de partículas finas es la Cera con un 95% de pasantes en la abertura de 0,0445 mm o malla 325 confirmando su alta plasticidad, las materias primas como Arenosa de



Buenos Aires, Roja de Buenos Aires con 86,94 y 84,38% son de finura intermedia así como lo es la arcilla Morada con 83,03% de pasantes malla 325, siendo la Arenosa de San Miguel la penúltima con 68,66 y la arcilla Roja de Cumbe la última con 62,74% de pasantes malla 325. Para la contracción total se observa de la Tabla 4.5 que la arcilla Cera posee mayor contracción, las placas para los ensayos de contracción se partieron al realizar los ensayos confirmando que es un material muy plástico, le siguen las arcillas Arenosa de Buenos Aires y Roja de Buenos Aires que son de contracción mucho menor pero sus valores son muy similares, por último están la Arenosa de San Miguel, la Roja de Cumbe y Morada materiales con baja contracción total.

Del análisis químico hay que recalcar que este análisis nos da una idea de lo que puede esperarse en una arcilla ya que en las arcillas los elementos que la forman se encuentran en forma de minerales y no de óxidos, gracias al análisis químico se puede encontrar los análisis racionales mineralógico aun cuando se sabe que es un método aproximado que nos puede dar los posibles minerales presentes en las materias primas, los resultados de este análisis racional se muestran en el Anexo A3.10, en este cálculo se supone que todo el material arcilloso como si fuera caolinita y todos los feldespatos como si fueran de sodio y de potasio, siendo lo demás la sílice libre, se puede inferir que la cantidad de sílice libre se encuentran en mayor cantidad en las arcillas Arenosa San Miguel, Roja de Cumbe, Roja de Buenos Aires y Arenosa de Buenos Aires siendo a la vez estos materiales los que contienen cantidades bajas de mineral arcilloso, y los materiales Cera y Morada los que mayor cantidad de material arcilloso poseen y bajas cantidades de cuarzo.

En cuanto a los feldespatos se tiene que la arcilla Morada, Roja de Cumbe y Arenosa de San Miguel poseen la mayor cantidad de fundentes, en cuanto al Fe_2O_3 todas las arcillas poseen una cantidad mayor al 4% siendo las más altas la arcilla Morada, Roja de Cumbe y Roja de Buenos Aires, estas arcillas aportan con el color característico de las tejas. Todas



las arcillas poseen menos del 14% de P.F que indica que no poseen mucho material carbonoso,

En la siguiente Tabla 3.22 se muestra una clasificación en base a la caracterización de las materias primas.

Arcilla	Plasticidad	Contracción total	Granulometría	Análisis químico	Análisis racional
Cera	Alta	Alta	Muy finos	Bajo en Sílice	Mediano contenido mineral arcilloso
Roja de Buenos Aires	Baja	Mediana	Intermedio finos	Alto en hierro	Baja contenido mineral arcilloso
Arenosa de San Miguel	Mediana	Baja	menos finos	Alto en sílice	Bajo contenido mineral arcilloso
Roja de Cumbe	Mediana	Baja	menos finos	Alto en hierro	Bajo contenido mineral arcilloso
Arenosa de Buenos Aires	Baja	Mediana	Intermedio finos	Medio en sílice	Bajo contenido mineral arcilloso
Morada	Baja	Baja	Intermedio finos	Alto en hierro	Mediano contenido mineral arcilloso

Tabla 3.22 Materias primas y su caracterización.

De la sección 3.1.7 la Tabla 3.13 donde se muestra los análisis químicos de los vidrios usados por los artesanos y los artesanos semimecanizados, se observa el porcentaje de óxido de plomo que es de 65,27% y 62,91% respectivamente. Según (OSHA, n/a) el límite de exposición de los trabajadores al plomo y sus compuestos para turnos laborales de 8 horas es 0,05mg/m³, con esto y con el análisis químico se puede constatar el riesgo al que están expuestos los artesanos y los artesanos semimecanizados.

La pasta semimecanizada posee un índice de plasticidad de 13,73 que corresponde a una pasta de mediana plasticidad, y posee una contracción al secado 9,95% que corresponde a una contracción mediana y una contracción de 0 a la primera quema de bizcocho, y contracción a la segunda quema de 0,28% que es un porcentaje de contracción bajo, la contracción total es de 10,23. En cuanto a la granulometría el material de la pasta posee una gran cantidad de finos ya que porcentaje de pasante malla 325 es de 75,52%. Para los ensayos de flexión que se muestra en la tabla 3.16, de las tejas elaboradas por los artesanos semimecanizados, para las



UNIVERSIDAD DE CUENCA

tejas bizcochadas el valor de la carga a la rotura es de 46,51Kgf y para las tejas vidriadas es de 49,29Kgf (al ser la teja vidriada el producto final este es el valor a considerar para comparar con los requisitos de la Norma INEN), las tejas vidriadas son en un 5,97% más resistente que las bizcochadas, pero las dos no cumplen con los requisitos para las tejas según Norma INEN 0990 que indica que la teja debe poseer mínimo 100Kgf de carga a la rotura. Para la absorción de agua de la tabla 3.17 la teja bizcochada posee un 18,40% y la teja vidriada un 17,72%, el vidrio de la teja ayuda a disminuir un 3,7% la absorción de agua, pero las dos no cumplen con el requisito de la Norma INEN 0990 que indica que una teja bizcochada curva debe poseer como máximo un 18% y una teja vidriada como máximo un 12%.



CAPITULO 4

4.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS CON MEZCLAS.

El diseño experimental de mezclas los factores son los componentes de la mezcla y las variables de respuesta están en función de las proporciones de los componentes presentes en dicha mezcla y no de la cantidad total de la mezcla. En este diseño la calidad de la respuesta está dada por las proporciones en las que intervienen los componentes en la mezcla y no de un valor absoluto de uno de ellos.

Algunos objetivos de este diseño como lo indica (Pullido & Salazar, 2008) se encuentran descritos a continuación.

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

En este diseño no se trata de producir las formulaciones que se le ocurran al experimentador y llevar a cabo una investigación prueba y error, sino aplicar una metodología de planeación y análisis que asegure obtener conocimiento y soluciones. Entonces en un experimento con mezclas se tendrá q componentes y cada tratamiento en el experimento corresponde a una combinación específica de estos componentes o mezcla, se denota a las proporciones de los componentes de la mezcla como $x_1, x_2, x_3, \dots, x_q$, estas deben cumplir las siguientes restricciones.

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad [4.1]$$

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_q = 1 \quad [4.2]$$



Este diseño es muy diferente de los diseños factoriales donde los niveles de cada factor no dependen de los demás niveles, si se cambia un nivel el otro no varía.

En los diseños de mezclas sus puntos experimentales se representan mediante simplejos, que son figuras geométricas que permite graficar q componentes en $(q-1)$ dimensiones, así un ejemplo de esto es una mezcla con $q=2$ se mostraría en un simplejo o simplex como un segmento de recta en un plano cartesiano formado por la ecuación $x_1+x_2=1$, con $q=3$ sería una figura en dos dimensiones de un triángulo equilátero formada por la ecuación $x_1+x_2+x_3=1$ ternarias, para $q=4$ un tetraedro como se muestra en la Figura 4.1. En esta grafica los componentes puros de las mezclas se muestran en los vértices y en las aristas mezclas binarias, en las caras mezclas ternarias y en el interior del tetraedro mezclas cuaternarias

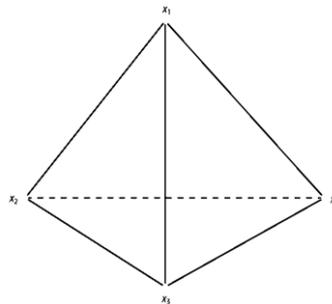


Figura 4.1 Región experimental para $q=4$.

4.1.1 DISEÑO SIMPLEX-LATTICE.

Este diseño se basa en el arreglo simétrico de los puntos experimentales, y se representa como $\{k, m\}$, donde $k=q$ es el número de componentes de la mezcla y m es un modelo estadístico de orden m , y las proporciones de los componentes pueden tomar los $m+1$ valores entre 0 y 1 dados por $x_i=0, 1/m, 2/m, \dots, m/m$, todas las posibles combinaciones con estos valores nos dará los puntos experimentales, así para $\{3, 2\}$ se obtienen las siguientes proporciones $x_i=0, \frac{1}{2}, 1$, y las posibles combinaciones serán. $(1; 0; 0)$, $(0; 1; 0)$, $(0; 0; 1)$, $(0,5; 0,5; 0)$, $(0,5; 0; 0,5)$ y $(0; 0,5; 0,5)$, seis puntos experimentales que se muestran representados en la Figura 4.2.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

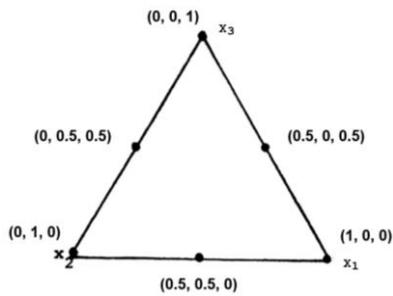


Figura 4.2 Simplex-lattice para {3, 2}.

Como se observa en la figura, la región con mayor exploración se encuentran en las fronteras de la región experimental dejando un componente sin acción en la mayoría de las mezclas. Si se desea conocer experimentos en la zona interna de un simplejo se debe aumentar el modelo de un simplex, para esto se recomienda agregar el centroide global $(1/q; \dots; 1/q)$ y las mezclas localizadas entre el centroide y los vértices. Si se desea obtener un mayor conocimiento en una región experimental en cualquier caso de estudio se debe de utilizar otro tipo de diseño.

4.1.2 DISEÑO DE MEZCLAS CON RESTRICCIONES.

Los diseños de mezclas con restricciones son utilizados cuando por razones técnicas o económicas las fracciones de los componentes de las mezclas se encuentran restringidas a ciertos límites de la siguiente manera.

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1 \quad [4.3]$$

Donde a_i es el límite inferior de proporción del i -ésimo componente x y b_i es su límite de proporción superior, en todas las mezclas a probar deben cumplirse estas restricciones a los componentes, en concordancia con estas restricciones se delimita una región experimental factible a una zona del simplex, las zonas delimitadas por las restricciones pueden adquirir diferente formas, dependiendo de las restricciones y del número de componentes. La subregión marcada por las restricciones por lo general adquieren formas de un polígono o hiperpolígono irregular, en estos casos no es útil los diseños



simplex se debe utilizar otros diseños como el de vértices extremos para encontrar los puntos experimentales en la subregión marcada por las restricciones. (Pullido & Salazar, 2008)

4.1.2.1 DISEÑO DE VÉRTICES EXTREMOS

Las restricciones de los componentes individuales de una mezcla describen un hiperpoliedro irregular en una subregión del simplex de (q-1) dimensiones, el centroide y los vértices de este describen un conjunto único de puntos experimentales los cuales pueden ser utilizados para hallar la superficie de respuesta. El diseño de vértices extremos se basa en encontrar los vértices definidos por las restricciones de los componentes de la mezcla tomando en cuenta que los vértices deben caer en el límite formado por las restricciones superiores e inferiores de los (q-1) componentes, según (Mclean & Anderson, 1966) los vértices son hallados mediante los siguientes reglas.

- Escribir todas las posibles combinaciones usando los niveles superior e inferior de los componentes dejando un espacio en blanco de un componente ejemplo (a₁, b₂, ---, d₄) para cuatro componentes, para encontrar el número de combinaciones posibles se utiliza la ecuación 4.4 incluyendo el componente en blanco.

$$\text{posibles tratamientos} = q * 2^{q-1} \quad [4.4]$$

- Llenar todos los espacios en blanco de todos los posibles tratamientos encontrados con la ayuda de la ecuación 4.5

$$x_q = 1 - \sum_{i=1}^{q-1} x_i \quad [4.5]$$

De manera que cumplan con la restricción de la ecuación 4.1 y también las restricciones de los niveles superiores e inferiores obtenidas con anticipación, al final cada una de las combinaciones admitidas es un vértice pero estos pueden aparecer más de una vez así que hay que eliminar los que se repiten.



El hiperpoliedro formado contiene varios centroides, y el centroide global que es el promedio de los vértices encontrados del hiperpoliedro, en la Figura 4.3 se muestra un ejemplo de un poliedro delimitado por sus restricciones y sus respectivos vértices.

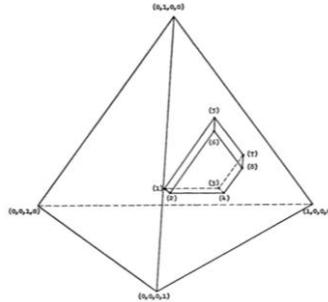


Figura 4.3 Diseño de vértices extremos. Fuente (Mclean & Anderson, 1966)
4.1.3 MODELO MATEMÁTICO PARA CARACTERIZAR LA SUPERFICIE DE RESPUESTA

Un modelo matemático es una relación funcional entre una variable independiente y una dependiente, esto nos sirve para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta, si una variable dependiente y está en función de $x_1, x_2, x_3, \dots, x_q$ variables cuantitativas o componentes y se puede expresar por medio de un modelo matemático $y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_q)+e$ a dicha relación funcional se le llama superficie de respuesta. Los modelos matemáticos usados para la interpretación de las respuestas en diseño de mezclas varían de los modelos matemáticos de los diseños factoriales ya que se debe incluir la restricción $x_1+x_2+x_3+\dots+x_q=1$, esto obliga a demostrar que los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$ no son únicos, para esto se multiplica uno de los términos por $(x_1+x_2+x_3+\dots+x_q=1)$ como se muestra a continuación en un ejemplo con cuatro componentes a un modelo lineal. (Pullido & Salazar, 2008)

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 \quad [4.6]$$

$$\hat{y} = \beta_0(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 \quad [4.7]$$

Multiplicando y reagrupando se obtiene.

$$\hat{y} = x_1(\beta_0 + \beta_1) + x_2(\beta_0 + \beta_2) + x_3(\beta_0 + \beta_3) + x_4(\beta_0 + \beta_3) \quad [4.8]$$



Si denotamos a $\beta_i = \beta_0 + \beta_i$ para todo $i = 1, 2, 3, \dots, q$, obtenemos.

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad [4.9]$$

La ecuación 4.9 es conocido como modelo canónico de primer orden, para un modelo cuadrático con cuatro componentes se realiza un procedimiento similar y el resultado se muestra en la ecuación.

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad [4.10]$$

Denotamos a $\beta_i = (\beta_0 + \beta_i + \beta_{ii})$ y $\beta_{ij} = (\beta_{ij} - \beta_{ii} - \beta_{jj})$ para todo $i = 1, 2, 3, \dots, q$, conocido como modelo canónico de segundó orden, para un modelo canónico de tercer orden o modelo cubico incompleto se muestra a continuación

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{j < k} \sum_{k=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad [4.11]$$

Modelo cubico completo

$$\begin{aligned} \hat{y} = & \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) \\ & + \sum_{i < j} \sum_{j < k} \sum_{k=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \end{aligned} \quad [4.12]$$

4.1.4 SELECCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS

En base al análisis de resultados realizado en el capítulo 3 se requiere un diseño de mezclas con restricciones ya que algunas materias primas poseen propiedades muy diferentes, estas diferencias pueden ocasionar problemas si se usa un diseño donde solo se explora los experimentos en las aristas o caras de un simplex, se requiere entonces una zona factible donde dichas materias primas no puedan causar problemas. Como ya se estudió en la sección 4.2.1 el diseño de vértices extremos es el más adaptable para nuestro caso.



4.1.5 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES Y LAS VARIABLES DE RESPUESTA.

Para realizar una pasta se requieren de un agente plástico que brinde un buen molde, en nuestro caso serán las arcillas Cera y la Roja de Cumbe, se requiere de materiales desengrasantes que contrarreste el exceso de plasticidad para nuestro caso serán las arcillas Arenosa de Buenos Aires y la arcilla Morada, además esta última actuara como fundente al igual que la Roja de Cumbe. No se seleccionan las arcillas: Arenosa de San Miguel ya que sus propiedades son similares a la Roja de Cumbe así como tampoco se elige la arcilla Roja de Buenos Aires cuyas propiedades son parecidas a la Arenosa de Buenos Aires, sus diferencias están en las cantidades de hierro pero ya se toma para esto en cuenta la Roja de Cumbe y la Morada. De esta manera se eligieron 4 materias primas, la arcilla Cera, la Roja de Cumbe, Arenosa de Buenos Aires y Morada, será entonces una mezcla de $q=4$, las variables de respuesta será y_1 =% de contracción al secado, y_2 =% de contracción a la primera quema a 850°C , y_3 =% de contracción a la segunda quema de 1000°C , y_4 =% de contracción total, y_5 = % de absorción de agua, y_6 =carga a la rotura en Kgf. Existen otros factores que se mantienen constantes como la granulometría que se trabaja con el material pasado malla 8, y los ciclos de quema a 850°C para el bizcochado y para el vidriado a 1000°C .

4.1.6 SELECCIÓN DE LOS NIVELES PARA LAS RESTRICCIONES DE LOS COMPONENTES.

Los niveles de las restricciones se obtienen del análisis previo al diseño de mezclas, dicho esto en la tabla 4.1 se muestra los límites de las restricciones y la naturaleza de estas.



Componentes	Límite Inferior/Superior	Motivo de la Restricción
Cera (x1)	0,1	Esta arcilla contribuye con plasticidad que sirve para el moldeo de la teja sin esta arcilla no se obtendría el moldeo adecuado.
	0,35	Este material posee altos valores de % de contracción al secado, a la quema y total, en grandes proporciones provoca que la teja se rompa
Roja de Cumbe (x2)	0,05	Actúa como material de mediana plasticidad ayuda al moldeo, Contribuye con el óxido de hierro que actuará como fundente y dará el color característico de la tejas.
	0,4	En cantidades elevadas perjudicaría a la quema de 850°C provoca expansión.
Arenosa de Buenos Aires (x3)	0,1	Ayuda a compensar el exceso de plasticidad. Sirve de armazón durante la cocción.
	0,5	En cantidades elevadas perjudicaría el moldeo adecuado de la teja.
Morada (x4)	0,1	Posee una alta cantidad de óxido de hierro actúa como fundente durante la quema y da el color a las tejas. Posee baja contracción total lo que ayuda a compensar el exceso de la arcilla cera.
	0,6	Produce expansión a la quema a 850 °C. El óxido de hierro en exceso puede producir que la teja se funda a temperaturas muy altas.

Tabla 4.1 Límites de las restricciones de cada uno de los componentes de la mezcla

4.1.7 DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL ALGORITMO DE VERTICES EXTREMOS.

En la sección 4.2.1 se muestra los criterios considerados para realizar el algoritmo de vértices extremos, en el anexo A4.1 se muestra el procedimiento con cuatro componentes, y en la tabla 4.2.se muestra los puntos experimentales encontrados



Experimento.	Cera	Roja de Cumbe	Arenosa de buenos aires	Morada	total
1	0,10	0,05	0,50	0,35	1
2	0,10	0,40	0,10	0,40	1
3	0,35	0,05	0,50	0,10	1
4	0,35	0,05	0,10	0,50	1
5	0,35	0,40	0,10	0,15	1
6	0,10	0,20	0,10	0,60	1
7	0,10	0,30	0,50	0,10	1
8	0,10	0,05	0,25	0,60	1
9	0,10	0,40	0,40	0,10	1
10	0,35	0,40	0,15	0,10	1
11	0,25	0,05	0,10	0,60	1
12	0,20	0,21	0,25	0,33	1

Tabla 4.2 Corridas experimentales para el diseño de mezclas con 4 componentes.

4.1.7.1 RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS.

En la tabla 4.3 se muestra las repuestas obtenidas con los puntos experimentales encontrados con el algoritmo de vértices extremos, el orden experimental fue aleatorio.



Experimentos	y1 %contracción. al secado	y2 %contracción a quema 850°C	y3 %contracción a la quema 1000°C	y4 %contracción total	y5 %absorción de agua	y6 Carga a la rotura Kgf
4	8,53	0,08	1,48	10,08	12,82	27,33
8	7,23	-0,23	1,16	8,16	16,50	29,88
11	7,45	0,01	1,12	8,58	13,88	33,90
9	7,37	-0,10	1,08	8,35	19,05	23,59
1	7,61	0,02	0,96	8,58	18,30	21,91
3	8,68	0,48	1,63	10,79	16,17	29,67
7	7,67	0,03	1,05	8,75	19,59	19,97
6	6,47	-0,28	1,23	7,42	16,50	26,44
5	8,18	-0,08	1,31	9,41	14,93	23,45
2	6,79	-0,30	1,03	7,52	18,09	18,87
10	8,21	0,25	1,25	9,71	16,03	28,35
12	7,73	0,08	1,30	9,10	17,35	24,20

Tabla 4.3 Corrida de los experimentos y respuestas obtenidas.

4.1.7.2 AJUSTE DEL MODELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA.

Para obtener los coeficientes de los modelos se aplica el principio de mínimos cuadrados, se usó el programa Microsoft Excel 2013 para encontrar los coeficientes de un modelo lineal y cuadráticos los cálculos se muestran en A4.2. Para la selección del modelo se realizó el análisis de la varianza, se encontró el coeficiente de determinación múltiple R^2 , R^2 ajustado, y la prueba de utilidad para cada modelo ajustado, estos cálculos se encuentran en A4.3.

4.1.7.3 CONTRACCIÓN AL SECADO

Para el porcentaje de contracción al secado se obtuvo la Tabla 4.4 donde se muestra el análisis de la varianza entre los dos modelos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
Lineal	61,336	3	20,445	467,257	<0,001
Cuadrático	6,548	6	1,091	24,943	<0,001
Error	0,306	7	0,044		
Total	68,191	16			

Tabla 4.4 Análisis de la varianza entre dos modelos para la contracción al secado.



En la tabla 4.5 se muestra los errores cuadráticos aportados por el modelo lineal, cuadrático y los errores al cuadrado, la prueba f y el valor p muestran la utilidad del modelo al compararlo con otro de grado más bajo, para cualquier nivel de significancia los dos modelos son útiles ya que el valor de p es menor 0,001, el hecho de descartar la hipótesis nula $H_0: B_i = 0$ para el modelo lineal implica que por lo menos uno de los coeficientes lineales aporta significativamente con el modelo lineal. Para el caso del modelo cuadrático la prueba $H_0: B_i = 0$ no tiene sentido ya que el hecho que $B_i=0$ no implica que el ingrediente x_i no tenga efecto individual o lineal, pero para $B_{ij}=0$ si provee información del efecto combinado de x_i y x_j que nos indica que al menos uno de los coeficientes combinados aporta significativamente con el modelo. Se encontró los valores de R^2 , R^2 ajustado, y la varianza basada en los residuos al cuadrado esto se muestra en la tabla 4.5, R^2 me da la proporción explicada por el modelo lineal mientras que R^2 ajustado me da la proporción explicada por el modelo ajustado al número de experimentos realizados (Devore, 2008), se observa que el modelo cuadrático es el que mejor se ajusta con un R^2 ajustado mayor al lineal.

Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	0,490	89,948	81,369
Cuadrático	0,038	99,551	86,602

Tabla 4.5 Análisis entre dos modelos para la contracción al secado.

Se elige el modelo cuadrático ya que es el que mejor se ajusta a las respuestas obtenidas, a continuación se muestra la ecuación cuadrática 4.13 y el análisis ANOVA solo del modelo cuadrático ajustado en la Tabla 4.6.

$$\begin{aligned} \% \text{contracción secado} = & 14,88 * C + 6,323 * Rc + 10,172 * Ba + 5,345 * M - 4,975 * C * \\ & Rc - 12,404 * C * Ba - 1,194 * C * M - 3,178 * Rc * Ba + 0,785 * Rc * M - 0,983 * Ba * \\ & M \quad [4.13] \end{aligned}$$

Donde:

C=Arcilla Cera

Rc=Arcilla Roja de Cumbe

Ba= Arcilla Buenos Aires

M= Arcilla Morada



Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Regresión cuadrático	67,884	9	7,543	172,381	<0,001
Error	0,306	7	0,044		
Total	68,191	16			

Tabla 4.6 Análisis de la varianza para el modelo cuadrático ajustado para la contracción al secado.

Los valores de f y p son diferentes de la tabla 4.4 ya que en la tabla 4.6 se analiza solo al modelo cuadrático y en la tabla anterior se compara los dos modelos y la influencia del ultimo con respecto al otro. De igual manera el valor de p es menor a 0,001, el modelo es significativo.

4.1.7.4 CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE 850°C

Para la contracción a la primera quema de 850°C se realizó de igual manera los dos modelos y su análisis como se muestra en la tabla 4.7

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Lineal	7,216	3	2,405	188,641	<0,001
Cuadrático	1,419	6	0,236	18,541	0,0021
Error	0,077	6	0,013		
Total	8,711	15			

Tabla 4.7 Análisis de la varianza entre dos modelos para la contracción a la quema de 850°C.

La prueba de utilidad para B_{ij} demuestra que el modelo cuadrático aporta significativamente con un valor de p menor a 0,01, también se realiza los análisis de R^2 y $R^2_{ajustado}$ y la varianza basada en los residuos al cuadrado esto se muestra en la Tabla 4.8, se demuestra así que un modelo cuadrático se ajusta mejor que un modelo lineal.

Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	0,115	82,838	78,547
Cuadrático	0,011	99,122	97,804

Tabla 4.8 Análisis entre dos modelos para la contracción a la quema 850°C.



A continuación se muestra la ecuación cuadrática y en la tabla 4.9 el análisis de la varianza para el modelo cuadrático ajustado.

$$\% \text{contracción quema } 850^{\circ}\text{C} = 2,876 * C - 0,355 * Rc + 0,514 * Ba - 0,111 * M - 3,469 * C * Rc - 2,674 * C * Ba - 3,610 * C * M - 0,301 * Rc * Ba - 0,547 * Rc * M - 1,103 * Ba * M \quad [4.14]$$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
Regresión cuadrática	8,635	9	0,959	75,241	<0,001
Error	0,077	6	0,013		
Total	8,711	15			

Tabla 4.9 Análisis de la varianza para el modelo cuadrático ajustado para la contracción a 850 °C.

4.1.7.5 CONTRACCIÓN A LA QUEMA DE 1000°C

Para el porcentaje de contracción a la segunda quema a la temperatura de 1000°C se realizó el mismo procedimiento como en los casos anteriores como se muestra en la tabla 4.10

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Lineal	0,593	3	0,198	13,592	0,00753
Cuadrático	0,358	6	0,060	4,100	0,0573
Error	0,087	6	0,015		
Total	1,038	15			

Tabla 4.10 Análisis de la varianza entre dos modelos para la contracción a la quema 1000°C.

De la tabla 4.10 se puede inferir que el aporte del modelo lineal es significativo para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ y 0.01 pero no para un valor de 0.001 o menores a este, en tanto que el aporte del modelo cuadrático con respecto al lineal es significativo para un $\alpha=0.1$ pero no para 0.05 o menores, pero esto no quiere decir que el aporte del modelo cuadrático no tenga importancia ya que esto se puede comprobar al realizar los estimadores de R^2 y $R^2_{ajustado}$ y la varianza basada en los residuos al cuadrado esto se muestra en la Tabla 4.11



Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	0,034	57,129	39,781
Cuadrático	0,012	91,594	78,984

Tabla 4.11 Análisis entre dos modelos para la contracción a la quema 1000°C.

El modelo cuadrático aumenta los valores de R^2 y R^2 ajustado a un valor mayor al modelo lineal, esto implica que antes el modelo lineal explicaba el 39,78% y con el modelo cuadrático la proporción explicada es 78.98%, entonces se descarta el modelo lineal y se usa el cuadrático ya que es el que mejor se ajusta, así se muestra la función cuadrática 4.15 y el análisis de la varianza que se muestra en la Tabla 4.12

$$\% \text{contracción quema } 1000^\circ\text{C} = 1,553 * C + 0,902 * Rc + 0,705 * Ba + 0,765 * M - 0,436 * C * Rc + 3,127 * C * Ba + 1,296 * C * M + 0,073 * Rc * Ba + 1,078 * Rc * M + 0,147 * Ba * M \quad [4.15]$$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Regresión cuadrático	0,951	9	0,106	7,264	0,0173
Error	0,087	6	0,015		
Total	1,038	15			

Tabla 4.12 Análisis de la varianza para el modelo cuadrático ajustado para la contracción a 1000 °C.

4.1.7.6 CONTRACCIÓN TOTAL.

Para la contracción total se realizó el análisis de los dos modelos que se muestra a continuación en la siguiente tabla 4.13

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Lineal	124,584	3	41,528	549,283	<0,001
Cuadrático	9,560	6	1,593	21,074	<0,001
Error	0,454	6	0,076		
Total	134,597	15			

Tabla 4.13 Análisis de la varianza entre dos modelos para la contracción total.



En la tabla 4.13 se observa que el aporte del modelo cuadrático al lineal es significativo con un $p < 0,001$, el modelo lineal también es significativo pero al comparar los dos modelos con la Tabla 4.14, se observa que el aporte de la proporción explicada ajustada por el modelo es mayor en el cuadrático que en el lineal, se toma así el modelo cuadrático cuya ecuación es 4.16 y en la Tabla 4.15 se muestra el análisis de la varianza para este caso.

Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	0,773	92,538	83,698
Cuadrático	0,065	99,663	99,157

Tabla 4.14 Análisis entre dos modelos para la contracción total

$$\% \text{contracción total} = 19,312 * C + 6,878 * Rc + 11,403 * Ba + 6,025 * M - 9,023 * C * Rc - 12,162 * C * Ba - 3,617 * C * M - 3,487 * Rc * Ba + 1,137 * Rc * M - 2,014 * Ba * M \quad [4.16]$$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Cuadrático	134,144	9	14,905	197,144	<0,001
Error	0,454	6	0,076		
Total	134,597	15			

Tabla 4.15 Análisis de la varianza para el modelo cuadrático ajustado para la contracción total.

4.1.7.7 ABSORCIÓN DE AGUA.

Para la absorción de agua se realizó el análisis de la varianza entre los modelos, se observa en la Tabla 4.16 el aporte del modelo cuadrático al lineal, los valores de p son relativamente altos, pero esto no quiere decir que el modelo lineal no sea significativo, para un nivel de $\alpha = 0,05$ el modelo lineal es significativo como también para un $\alpha = 0,01$ pero no para menores a este; el aporte del modelo cuadrático no es significativo para ningún valor menor de $\alpha = 0,1$ el valor p es mayor a 0,1, esto nos lleva a inferir que el aporte del modelo cuadrático con respecto al lineal no es significativo y se puede eliminar el termino cuadrático.



Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Lineal	44,087	3	14,696	44,875	0,00875
Cuadrático	0,876	6	0,146	0,446	>0,100
Error	0,982	3	0,327		
Total	45,945	12			

Tabla 4.16 Análisis de la varianza entre dos modelos para la absorción de agua.

Al comparar los R^2 y $R^2_{ajustado}$ se observa el aporte del modelo cuadrático a la proporción explicada que se muestra en la Tabla 4.17, como se puede observar el aporte es pequeño, en este caso se utilizara el modelo lineal ya que es una ecuación más sencilla de manejar y con un buen ajuste de los datos.

Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	0,186	95,955	85,147
Cuadrático	0,246	97,862	91,447

Tabla 4.17 Análisis entre dos modelos para la absorción de agua.

La ecuación 4.17 muestra el modelo lineal ajustado y en la tabla 4.18 se muestra el análisis de la varianza solo para el modelo lineal.

$$\% \text{ absorción de agua} = 6,066 * C + 21,532 * Rc + 22,232 * Ba + 15,511 * M \quad [4.17]$$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Regresión lineal	44,087	3	14,695	71,174	<0,001
Error	1,858	9	0,206		
Total	45,945	12			

Tabla 4.18 Análisis de la varianza par un modelo lineal de absorción de agua.

De la tabla 4.18 se deduce que la $H_0: B_1=B_2=B_3=B_4=0$ debe ser descartada a cualquier nivel de significancia, la conclusión es que hay una relación lineal



útil entre la absorción de agua y al menos uno de los cuatro predictores del modelo, esto es, al menos una de las variables predictores está aportando información significativa para la predicción de la variable de respuesta y.

4.1.7.8 CARGA A LA ROTURA.

Para la carga a la rotura en placas se realizó el análisis que se muestra en la Tabla 4.19, el valor p para el modelo lineal no es significativo para ningún valor de $\alpha < 0,1$, la conclusión es que no hay una relación lineal útil entre la carga a la rotura y al menos uno de los cuatro predictores del modelo, por otro lado el valor p para el modelo cuadrático es significativo para $\alpha = 0,05$ esto quiere decir que los predictores B_{ij} aportan significativamente al modelo, pero no para valores de $\alpha = 0,01$ o inferiores a este.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Lineal	97,461	3	32,487	1,586	>0,1
Cuadrático	859,036	6	143,173	6,990	0,024
Error	122,896	6	20,483		
Total	1079,392	15			

Tabla 4.19 Análisis de la varianza entre dos modelos para la carga a la rotura.

En la tabla 4.20 se observa los valores de los R^2 y $R^2_{ajustado}$, los valores del modelo lineal prácticamente no muestran señal de que los datos experimentales se ajuste a una ecuación lineal, el modelo cuadrático tiene una proporción explicada mayor al lineal con R^2 y $R^2_{ajustado}$ mayores, esto nos lleva a elegir al modelo cuadrático sobre el lineal, la función cuadrática es la 4.18 y el análisis de la varianza para el modelo ajustado en la tabla 4.21.

Modelo	σ^2 (estimado de la varianza)	R^2	Ra^2
Lineal	75,533	9,029	-13,713
Cuadrático	17,557	88,614	71,536

Tabla 4.20 Análisis entre dos modelos para la carga a la rotura.



$$\text{Carga a la rotura} = 9,501 * C + 9,238 * Rc + 4,918 * Ba + 13,277 * M + 44,503 * C * Rc + 80,499 * C * Ba + 81,038 * C * M + 33,529 * Rc * Ba + 9,175 * Rc * M + 49,620 * Ba * M \quad [4.18]$$

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	valor p
Regresión Cuadrático	956,496	9	106,277	5,189	0,038
Error	122,896	6	20,483		
Total	1079,392	15			

Tabla 4.21 Análisis de la varianza par un modelo cuadrático para la carga a la rotura.

4.1.8 INTERPRETACIÓN DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO AJUSTADO

En diseño de mezclas no es posible interpretar al coeficiente lineal del modelo ajustado como el efecto individual del componente correspondiente, ya que la suma de las proporciones de los componentes debe ser siempre igual a uno, en este caso los coeficientes lineales muestran el efecto de la respuesta estimada en los vértices del tetraedro, esto sería igual a tener la mezcla de un solo componente y observar su respuesta estimada. Para los coeficientes cuadráticos el efecto individual de B_{ij} en la respuesta añade las interacciones entre $x_i x_j$ y muestra la respuesta estimada a lo largo de una de las aristas del tetraedro, es precisamente el coeficiente B_{ij} el que representa el exceso de la respuesta del modelo cuadrático sobre el lineal, y dependiendo de su signo se habla de sinergismo o antagonismo entre los componentes. El efecto de un componente x_i es el cambio en la respuesta que va desde la base al vértice del tetraedro, mientras esté varía desde 1 a 0 las proporciones de los demás componentes se mantienen constantes y cuya suma pasa de 0 a 1.

Para el caso de la ecuación 4.14 el máximo valor para la contracción al secado está dado por el coeficiente lineal de la arcilla Cera, seguido por los coeficientes de Arenosa de Buenos Aires y por último se encuentran la Roja de Cumbe y Morada, los coeficientes lineales son aditivos, los coeficientes cuadráticos entre la arcilla cera y las demás arcillas provoca antagonismo, la



interacción entre roja de cumbe y buenos aires provoca antagonismo mientras que con la arcilla morada provoca sinergismo, la última interacción entre Buenos Aires y Morada es antagónica, en general mientras más cerca se encuentren una mezcla al vértice de Cera el porcentaje de contracción al secado aumenta, y mientras más cerca al vértice de Morada el porcentaje de contracción disminuye.

En el caso de la ecuación 4.15 las respuestas dadas por los coeficientes en los vértices del tetraedro muestran que la arcilla Cera presenta mayor contracción a la quema a 850°C seguida de Arenosa de Buenos Aires, pero las arcillas Roja de Cumbe y Morada presentan una ligera expansión, los valores de estas últimas son negativas, mientras más cerca del vértice de la arcilla Cera se encuentren los experimentos los valores de contracción aumentan y de la misma manera sucede para la Arenosa de Buenos Aires, mientras más cerca de las arcillas Roja de Cumbe y Morada los resultados de contratación toman valores negativos, en general los coeficientes lineales no son aditivos y los coeficientes con interacciones entre las arcillas presentan antagonismo. Dando valores desde 0 a 1 a la arcilla Cera y manteniendo a los demás componentes en proporciones iguales se observa en las respuestas un cambio de valores negativos a positivos, para valores mayores a 0,25 de Cera las respuestas son positivas y para menores a este son negativas. Realizando como en el caso anterior para la arcilla Roja de Cumbe se observa en la respuesta valores negativos para valores superiores de 0,24 y positivos para inferiores a este.

Para la ecuación 4.16 el porcentaje de contracción a la quema a 1000°C el efecto del coeficiente lineal individual de la arcilla cera es el que mayor aporta con la contracción seguido de Roja de Cumbe, Morada y por último Arenosa de Buenos Aires, todos los coeficientes son aditivos. La interacción entre Cera y Roja de Cumbe presenta antagonismo y las demás interacciones presentan sinergismo.

Para la ecuación 4.17 el efecto individual del coeficiente lineal de la arcilla Cera posee el mayor valor de contracción total seguida de Arenosa de Buenos Aires, Roja de Cumbe y por último Morada, todos los coeficientes



lineales son aditivos, los coeficientes que interaccionan entre Cera y Roja de Cumbe son antagónicas, las interacciones entre Roja de Cumbe y Arenosa de Buenos Aires en antagónica y con Morada es sinérgica, las últimas interacciones entre Arenosa de Buenos Aires y Morada es antagónica.

La ecuación 4.18 el efecto individual del coeficiente lineal de la arcilla Arenosa de Buenos Aires es el valor más alto de %absorción de agua, seguido de Roja de Cumbe, Morada y por último la arcilla Cera, todos los coeficientes en la ecuación son aditivos, mientras las mezclas más se acerquen al vértice de Cera el porcentaje absorción de agua disminuye hasta llegar al valor de su coeficiente, y por otro lado si más se acerca a la arcilla Arenosa de Buenos Aires el porcentaje de absorción de agua aumenta.

El modelo cuadrático que representa la carga a la rotura de la ecuación 4.19, se observa que el efecto individual del coeficiente lineal de la arcilla Morada es el valor más alto de carga a la rotura le siguen Cera, Roja de Cumbe y Arenosa de Buenos Aires, todos los coeficientes lineales son aditivos, los efectos de los términos cuadráticos son sinérgicos, si las proporciones de las mezclas se acercan al vértice de la arcilla Morada su carga a la rotura será mayor hasta tomar el valor de su vértice de igual manera sucede con la arcilla Cera, y si más nos acercamos al vértice de Arenosa de Buenos Aires menor carga a la rotura.

**CAPITULO 5****5.1 ACOPLA PASTA VIDRIO Y PRUEBAS EN CAMPO.****5.1.1 SELECCIÓN DE LAS PASTAS PARA EL ACOPLA.**

De los experimentos realizados se seleccionaron las pastas que cumplan el criterio de la norma INEN 0990 que indica en la sección 4.2.1 que una teja no debe poseer un valor de absorción superior a 18%, también la selección se realizó en base a los experimentos que mejor trabajaron durante el moldeo de las pastas como se muestra la tabla 5.1

Experimentos	% Absorción de H ₂ O	Moldeo
1	18,30	Medio
2	18,09	Medio
3	16,17	Bueno
4	12,82	Bueno
5	14,93	Bueno
6	16,50	Medio
7	19,59	Bueno
8	16,50	Bueno
9	19,05	Bueno
10	16,03	Medio
11	13,88	Bueno
12	17,35	Medio

Tabla 5.1 Experimentos seleccionados por cumplir con la norma INEN 0990 y poseer un buen moldeo.

5.1.2 DILATOMETRIAS DE LAS PASTAS.

Primero se realizó la dilatometría de la pasta semimecanizada, este ensayo se realizó en los laboratorios de CESEMIN, y el reporte emitido se muestra en el A5.1 y la respuesta se encuentra en la tabla 5.2

Pasta	$\alpha_{(20-325)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)}/(^{\circ}\text{C})$	% $\alpha_{(20-325)}$	% $\alpha_{(20-500)}$	% $\alpha_{(20-600)}$
Semimecanizada	5,508E-06	5,735E-06	6,857E-06	0,1680	0,2753	0,3977

Tabla 5.2 Dilatometría de la pasta semimecanizada.

Luego se realizaron las dilatometrías de las pastas de los experimentos como se muestra en los Anexos A5.2, y los resultados de las dilatometrías



de las pastas quemadas a 850°C se muestra en la tabla 5.3, y en la tabla 5.4 de las pastas quemadas a 1000°C.

Experimentos	$\alpha_{(20-325)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)}/(^{\circ}\text{C})$	$\% \alpha_{(20-325)}$	$\% \alpha_{(20-500)}$	$\% \alpha_{(20-600)}$
3	7,082E-06	7,194E-06	8,340E-06	0,2160	0,3453	0,4837
4	7,213E-06	7,527E-06	8,650E-06	0,2200	0,3613	0,5017
5	7,148E-06	7,485E-06	8,167E-06	0,2180	0,3593	0,4737
8	7,016E-06	7,402E-06	8,616E-06	0,2140	0,3553	0,4997
11	7,410E-06	7,735E-06	8,995E-06	0,2260	0,3713	0,5217

Tabla 5.3 Dilatometría de la pasta quemada a 850°C

Experimento	$\alpha_{(20-325)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)}/(^{\circ}\text{C})$	$\% \alpha_{(20-325)}$	$\% \alpha_{(20-500)}$	$\% \alpha_{(20-600)}$
3	7,016E-06	6,777E-06	7,650E-06	0,2140	0,3253	0,4437
4	6,951E-06	6,735E-06	7,684E-06	0,2120	0,3233	0,4457
5	6,885E-06	6,527E-06	7,478E-06	0,2100	0,3133	0,4337
8	5,967E-06	6,069E-06	7,202E-06	0,1820	0,2913	0,4177
11	6,885E-06	6,819E-06	7,753E-06	0,2100	0,3273	0,4497

Tabla 5.4 Dilatometría de las pasta quemadas a 1000°C.

5.1.3 FRITAS PARA EL ACOPLA.

Se utilizaron las fritas de las fábricas Chivit, Esfel, Acuteja, de la fábrica Chivit se obtuvo la frita A5 8200, de la Fabrica Esfeld la frita EFA 80 y de la Fabrica Acuteja AT.

5.1.3.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS FRITAS

Se realizó el análisis químico de estas tres fritas por el método de fusión con hidróxidos, extracción acida y espectroscopia de absorción atómica, el reporte emitido por el CESEMIN que consta en el Anexo A3.8 y en la tabla 5.5 se muestran los resultados.

%Óxidos	A5 8200	EFA80	AT
SiO ₂	59,53	25,27	47,41
Al ₂ O ₃	3,10	6,54	7,99
Fe ₂ O ₃	0,16	0,26	4,57
CaO	6,25	9,04	6,22
MgO	1,15	0,61	1,23
Na ₂ O	5,89	3,21	4,11
K ₂ O	0,46	0,10	0,12
P _b O	NC	20,04	0,07
P.F	0,28	5,74	2,60
Total	76,82	70,81	74,32

Tabla 5.5 Análisis químico de las Fritas comerciales. Fuente: CESEMIN



5.1.3.2 DILATOMETRIAS DE LAS FRITAS

Las dilatometrias de las fritas se realizó en los laboratorios de CESEMIN y el reporte emitido se muestra en A5.3 y el resultado se muestra en la Tabla 5.6

Fritas	$\alpha_{(20-325)} /(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)} /(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)} /(^{\circ}\text{C})$	$\% \alpha_{(20-325)}$	$\% \alpha_{(20-500)}$	$\% \alpha_{(20-600)}$
A5 8200	8,459E-06	8,402E-06	9,374E-06	0,2580	0,4033	0,5437
EFA 80	8,525E-06	8,527E-06	1,162E-05	0,2600	0,4093	0,6740
AT	9,377E-06	9,444E-06	1,348E-05	0,2860	0,4533	0,7818

Tabla 5.6 Dilatometrias de Fritas.

5.1.4 PRUEBAS PARA EL ACOPLA PASTA VIDRIO

Antes de realizar los ensayos para el acople se realizaron unas pruebas para estimar la temperatura a la que empieza a fundir las fritas, las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca, así los mejores resultados se obtuvieron para la Frita EFA 80 con una cantidad de agua 58% y para la frita A5 8200 con 44% de agua, empiezan a fundir a temperaturas entre 850 a 900 °C, con la frita AT no hubo resultados positivos.

Se realizaron placas con cada uno de los experimentos y se quemaron las placas a 850°C para el bizcocho. Luego se procedió a colocar el esmalte en una de las caras de la placa de cada experimento y se procedió a la quema con el ciclo de 1000°C los resultados se muestran en la Figura 5.1.



Figura 5.1 Placas vidriadas con A5 8200, EFA80 y AT

Los resultados con la frita de Acuteja muestran que esta no es adecuada para los ciclos de quema utilizados por lo que se descarta su uso para pruebas posteriores, con la frita EFA 80 se obtiene un buen brillo y con la frita A5 8200 un brillo no tan intenso, pero con las dos se presenta el craquelado como se muestra en la Figura 5.2, esta figura pertenece a una



placa con la frita EFA 80, y en la Figura 5.3 se muestra con la frita A5 8200. El craquelado no es evidente a simple vista ya que es muy fino y para que sea notable se coloca azul de metileno en la cara vidriada de la placa y se observa con una lupa en presencia de una fuente de luz. Cabe mencionar que en las tejas realizadas por los artesanos semimecanizados el craquelado en el vidrio es aún más fino que el de las placas vidriadas con las fritas.



Figura 5.2 Placas craquelada con frita EFA 80.



Figura 5.3 Placa craquelada con la frita A5 8200.

También se midieron las contracciones tras la quema como se muestra en la tabla 5.7, en esta tabla también se muestra una pequeña descripción del craquelado comparando con las fritas.

Experimento	Frita EFA80	Frita A5 8200	% Contracción total
3	Craquelado grueso	Craquelado fino	10,79
4	Craquelado grueso	Craquelado fino	10,08
5	Craquelado grueso	Craquelado fino	9,41
8	Craquelado grueso	Craquelado fino	8,16
11	Craquelado grueso	Craquelado fino	8,58

Tabla 5.7 Contracción tras la quema y craquelado.



5.1.5 ENSAYOS PARA MEJORAR EL ACOPLE ENTRE LA PASTA Y EL VIDRIO.

Con la finalidad de disminuir este craquelado se procedió a modificar los factores que se encontraban constantes en el diseño de mezclas original como es el caso de la granulometría, según (Singer & Singer, 1979) el craquelado disminuye con una molienda más fina de los materiales de sílice, cuarzo, arena, pedernal, por lo que se procedió a moler los materiales Roja de Cumbe y Arenosa de Buenos Aires ya que del análisis racional estos fueron los que más sílice contienen, se molieron hasta que pasen la malla de un 1mm de abertura, se realizaron las experiencias y se obtuvo la Tabla 5.8. En esta tabla se observa un comparativo entre los craquelados de los experimentos realizados con el material pasado malla 8 ASTM (2,38mm) y pasado 1mm.

Experimentos	EFA 80		A5 8200	
	2,38mm	1mm	2,38mm	1mm
3	C grueso	C fino	C fino	C grueso
4	C fino	C grueso	C fino	C grueso
5	C grueso	C fino	C fino	C grueso
8	C grueso	C fino	C fino	C grueso
11	C grueso	C fino	C fino	C grueso

Tabla 5.8 Comparación entre de craquelado de craquelado de experimentos con pasante malla 8 ASTM y malla con abertura de 1mm.

En el caso de los experimentos con la frita EFA 80 no hubo un resultado positivo, en el caso de la frita A5 8200 si existe un resultado positivo en la disminución del craquelado observado. Se procedió a modificar aún más la granulometría, se pasó todo el material por abertura 0,5mm, y se obtuvo mejoras en los experimentos con A5 8200, también se midieron las contracciones en placas sin vidriar y se observa que hay un aumento en la contracción total al compararla con los experimentos originales y los modificados en la granulometría como lo muestra la Tabla 5.9.



	2,38mm	1mm*	0,5mm
Experimento	%Contracción total	%Contracción total	%Contracción total
3	10,79	10,51	12,07
4	10,08	9,89	11,03
5	9,41	9,88	11,79
8	8,16	7,18	8,35
11	8,58	8,90	10,22

Tabla 5.9 Comparación de %Contracción total y variación de granulometría en las pastas para el vidriado.

Para disminuir el craquelado aún más se procedió a modificar los experimentos originales, así se procedió a añadir un componente más en los experimentos originales, que fue la sílice la que se agregó en 10%, 20% y 30%, de igual manera que en los experimentos originales esta variación en la composición de las mezclas debe cumplir con las ecuaciones 4.1 y 4.2. Para la fritada EFA 80 se observó que el craquelado fue más grueso cuando los materiales pasaban por malla ocho así se realizó la modificación de los experimentos manteniendo los materiales pasantes malla 8 y la sílice pasante 0,5mm como se muestra en la Tabla 5.10, hay que recalcar que en estos experimentos se mantiene la biquema, primero la quema de la pasta a 850 °C y el vidriado 1000°C.

EFA80	Pasantes 2.38mm (malla 8)				Pasantes 0.5mm
Experimento	Cera	Roja de Cumbe	Ar. Buenos Aires	Morada	Sílice
3+	0,30	0,05	0,45	0,10	0,10
3++	0,25	0,05	0,40	0,10	0,20
3+++	0,23	0,05	0,35	0,08	0,30
5+	0,30	0,35	0,10	0,15	0,10
5+++	0,20	0,30	0,10	0,10	0,30
8 +	0,10	0,05	0,20	0,55	0,10
8++	0,10	0,05	0,15	0,50	0,20
11+	0,20	0,05	0,10	0,55	0,10
11++	0,15	0,05	0,10	0,50	0,20

Tabla 5.10 Pastas modificadas con sílice para la fritada EFA80.



Para la frita A5 8200 se aumenta la sílice en los experimentos con las cantidades que se indican arriba y se pasa todo el material por 0,5mm, como se ilustra en la tabla 5.11.

A5 8200	Pasantes 0,5mm				
Experimentos	Cera	Roja de Cumbe	Ar. de Buenos Aires	Morada	Sílice
3++	0,250	0,050	0,400	0,100	0,200
3+++	0,225	0,050	0,350	0,075	0,300
7+	0,200	0,250	0,350	0,100	0,100
7++	0,200	0,200	0,300	0,100	0,200
6+	0,100	0,250	0,175	0,375	0,100
6++	0,100	0,200	0,150	0,350	0,200
8 +	0,100	0,050	0,200	0,550	0,100
8++	0,100	0,050	0,150	0,500	0,200
11+	0,200	0,050	0,100	0,550	0,100
11++	0,150	0,050	0,100	0,500	0,200

Tabla 5.11 Pastas modificadas con sílice y materiales pasantes 0.5mm para la frita A5 8200.

En las tablas 5.12 y 5.13.se muestran los resultados considerando que en la contracción a 1000°C implica tanto contracción de pasta como de vidrio

Experim ento	%contrac ción secado	%contracci ón (850°C)	%contracción (1000°C)	% contracción total	Disminució n de craquelado
3+	8,10	0,32	0,60	9,02	No
3++	6,37	-0,13	0,74	6,97	No
3+++	7,43	3,03	-3,42	7,03	No
5+	8,21	0,25	1,59	10,05	No
5+++	7,43	-0,30	0,57	7,69	No
8 +	5,14	-0,47	0,75	5,43	No
8++	5,06	-0,54	0,56	5,07	No
11+	5,78	-0,13	0,86	6,52	No
11++	5,45	-0,67	0,56	5,34	No

Tabla 5.12 Resultados de contracción para experimentos con EFA 80.



Experimento	%contracción secado	%contracción (850°C)	%contracción (1000°C)	%contracción total	Disminución del craquelado
3++	8,25	0,39	0,70	9,33	Si
3+++	7,31	-0,09	0,36	7,57	Si
7+	7,98	0,07	0,94	8,98	No
7++	7,82	-0,27	0,44	7,99	Si
6+	6,47	-0,08	0,72	7,10	No
6++	6,21	-0,48	0,45	6,18	Si
8 +	6,84	0,13	0,82	7,79	No
8++	5,61	-0,53	0,74	5,82	No
11+	7,34	-0,14	0,97	8,17	No
11++	6,25	0,18	0,73	7,16	No

Tabla 5.13 % contracción de los experimentos con frita A5 8200.

El craquelado disminuyó con los experimentos 6++, 7++, 3+++ y 3++ con la frita A5 8200 como se muestra en la Figura 5.4



Figura 5.4 Craquelado con la frita A5 8200 con los experimentos modificados.

Los experimentos con la frita EFA 80 no presentaron mejoras en la disminución del craquelado como se muestra en la Figura 5.5



Figura 5.5 Craquelado con la frita EFA 80 con los experimentos modificados.

Para disminuir el craquelado aún más se procedió a modificar la quema así primero: se quema el bizcocho a 1000°C y se procede a vidriar a 900°C, los ciclos de quema se muestran en A5.4. Se realizaron las experiencias con los mismos experimentos modificados, las respuestas con la frita EFA 80 se muestran en la Tabla 5.14 con sus respectivas contracciones.

Experimento	%contracción secado	%contracción (1000°C)	%contracción (900°C)	contracción total	Disminución del craquelado
3+	8,100	0,457	-0,087	8,470	No
3++	6,370	-0,513	0,053	5,910	No
3+++	7,430	-0,225	0,171	7,376	No
5+	8,210	0,316	0,109	8,635	No
5+++	7,430	-0,292	-0,151	6,988	No
8 +	5,147	-0,576	0,000	4,570	No
8++	5,060	0,011	0,011	5,081	No
11+	5,785	-0,578	0,000	5,207	No
11++	5,450	-0,307	-0,380	4,764	No

Tabla 5.14 % de contracción de experimentos modificados y quema modificada con EFA 80.

Para los experimentos con A5 8200 también se realizaron los experimentos y los resultados de las contracciones se muestran en la Tabla 5.15.



Experimentos	%contracción secado	%contracción (1000°C)	%contracción (900)	%contracción total	Disminución del craquelado
3++	8,245	-0,180	-0,239	7,826	Si
3+++	7,305	-0,361	0,011	6,954	Si
7+	7,980	0,369	0,022	8,371	No
7++	7,815	0,049	-0,217	7,647	Si
6+	6,465	-0,433	-0,064	5,968	No
6++	6,210	-0,181	0,149	6,178	Si
8 +	6,840	-1,084	0,350	6,106	No
8++	5,607	-0,612	0,116	5,112	No
11+	7,340	-0,194	0,431	7,577	No
11++	6,250	0,021	0,032	6,303	No

Tabla 5.15 % de contracción de experimentos modificados y quema modificada con A5 8200.

Los mejores resultados se obtuvieron con la Frita A5 8200 con los experimentos 6++, 7++, 3+++ y 3++. Estos experimentos contienen 10%, 20%, 30%, de sílice respectivamente. De estos el mejor fue con 30% de sílice es decir el experimento 3+++ con la frita A5 8200 como se muestra en la Figura 5.6. Con la Frita EFA 80 no se obtuvo mejoras.



Figura 5.6 Experimento 3+++ con Frita A5 8200 mejor resultado obtenido al disminuir el craquelado con la frita Chivit.

5.1.5.1 DILATOMETRIA DE LOS EXPERIMENTOS MODIFICADOS

Se realizaron las dialatometrías de los experimentos modificados que dieron los mejores resultados, el reporte de resultados emitidos por el CESEMIN se muestran en A5.5, y el resultado para el bizcocho a 1000°C se muestra en la Tabla 5.16 y para el vidriado a 900°C se muestra en la Tabla 5.17.



Experimento	$\alpha_{(20-325)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)}/(^{\circ}\text{C})$	$\% \alpha_{(20-325)}$	$\% \alpha_{(20-500)}$	$\% \alpha_{(20-600)}$
3++	6,557E-06	6,860E-06	8,409E-06	0,2000	0,3293	0,4877
3+++	7,082E-06	7,152E-06	9,029E-06	0,2160	0,3433	0,5237
6++	7,148E-06	7,569E-06	8,960E-06	0,2180	0,3633	0,5197
7++	6,689E-06	7,027E-06	8,478E-06	0,2040	0,3373	0,4917

Tabla 5.16 Dialatometrías de experimentos modificados, quema de bizcocho a 1000°C

Experimento	$\alpha_{(20-325)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-500)}/(^{\circ}\text{C})$	$\alpha_{(20-600)}/(^{\circ}\text{C})$	$\% \alpha_{(20-325)}$	$\% \alpha_{(20-500)}$	$\% \alpha_{(20-600)}$
3++	6,623E-06	6,777E-06	7,960E-06	0,2020	0,3253	0,4617
3+++	6,623E-06	6,777E-06	8,305E-06	0,2020	0,3253	0,4817
6++	7,082E-06	7,402E-06	8,684E-06	0,2160	0,3553	0,5037
7++	6,492E-06	6,694E-06	7,926E-06	0,1980	0,3213	0,4597

Tabla 5.17 Dialatometrías de los experimentos modificados, quema vidriado a 900°C

5.2 PRUEBAS EN CAMPO

Para la elaboración de tejas en los sectores semimecanizados se realizó una selección de una pasta que posea la mayor carga a la rotura tanto en bizcocho como vidriada.

5.2.1 SELECCIÓN DE LA PASTA

Los ensayos de carga a la rotura se realizaron en un equipo para la resistencia a la flexión de la Industria Cerámica Graiman. Se realizaron en las placas bizcochadas cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.3. La resistencia a la flexión y la carga a la rotura de los experimentos seleccionados para el acople se muestran en la Tabla 5.18 y para las placas vidriadas los resultados se muestran en la Tabla 5.19.

Experimento	Carga a la Rotura Kf	Flexión (Kgf/cm ²)
3	29,67	52,62
4	22,90	61,17
5	18,11	31,42
8	29,88	42,74
11	33,90	52,52

Tabla 5.18 Carga a la rotura y resistencia a la flexión de los experimentos seleccionados para el acople.



Fritas	Experimento	Carga a la Rotura Kf	Flexión (Kgf/cm2)
EFA 80	3	25,26	41,76
A5 8200	3	14,26	50,36
EFA 80	4	32,43	38,91
A5 8200	4	15,10	42,22
EFA 80	8	25,88	32,59
A5 8200	8	30,24	41,40
EFA 80	11	19,59	34,10
A5 8200	11	20,62	56,08

Tabla 5.19 Carga a la rotura y resistencia a la flexión de las placas vidriadas.

Los mejores resultados se encuentran con los experimentos 8 y 11, tanto en pastas bizcochadas como en vidriadas, en el caso de las vidriadas los mejores resultados se obtienen con A5 8200 y luego le sigue EFA 80, el experimento 8 posee buenos resultados con ambas fritas en carga a la rotura y en flexión, se descarta el experimento 3 ya que con la frita A5 8200 tiene muy baja carga a la rotura, también se realizó el ensayo a la pasta semimecanizada original que tiene una carga a la rotura de 19,46 kgf.

5.2.2 ELABORACIÓN DE TEJAS.

Las tejas se elaboraron con el experimento 8 siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 2 en los talleres de los artesanos semimecanizados, para realizar la dosificación de las materias primas se usó una carretilla de 0,065 m³ de volumen y se calculó la dosificación utilizando una carretilla de este tipo y los cálculos se muestran en la Tabla 5.20.

Experimento	Cera	Roja de Cumbe	Ar. de Buenos Aires	Morada	Total
8	0,1	0,1	0,3	0,6	1
Nro. Carretillas	3	1	6	11	21

Tabla 5.20 Dosificación para el experimento 8 con una carretilla de 0,065 m³.

Se realizaron aproximadamente 800 tejas redondas como se muestra en la Figura 5.7. Una vez las tejas fueron realizadas se esperó aproximadamente 20 días para el secado debido al mal clima



Figura 5.7 Tejas elaboradas en los talleres de los artesanos semimecanizados.

5.2.3 QUEMA PARA EL BIZCOCHO EN HORNO DE TIRO INVERTIDO

Las tejas se quemaron en el horno de tiro invertido en el sector de Racar, se quemaron 300 tejas, estas fueron colocadas cerca de las paredes laterales a una distancia de 95 cm y una altura de 2 m. Luego se realizó la quema, en un ciclo que duró 19 horas llegando a una temperatura de 850°C, el monitoreo de temperatura para esta quema se muestra en la Figura 5.8, las temperaturas fueron monitoreadas con las termocuplas que posee el horno y un termómetro digital.

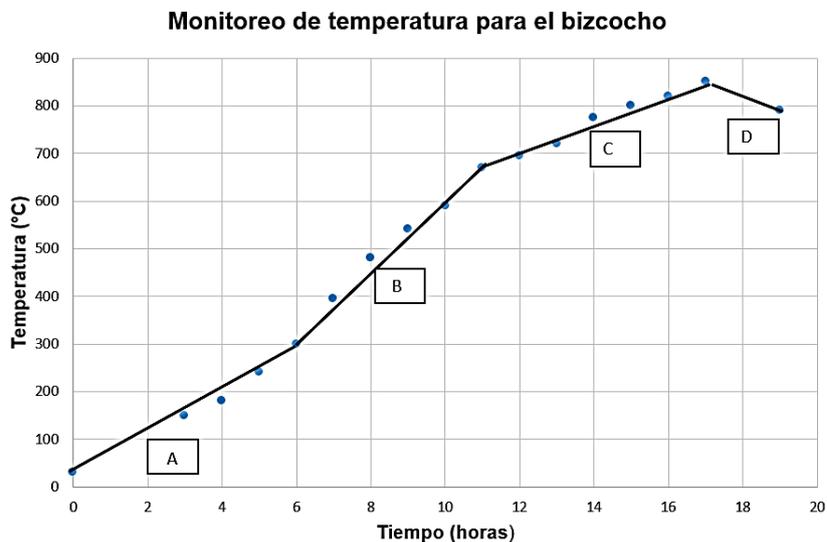


Figura 5.8 Monitoreo de temperatura para el bizcocho utilizando horno de tiro invertido.

Las zonas típicas de cocción de las tejas se muestran en la gráfica,

- La zona A.- Se observa un aumento de la temperatura en fase de precalentamiento desde la temperatura de 30 °C hasta los 300°C en 6 horas.



- Zona B.- Aumento rápido de temperatura desde los 300°C a los 670°C en 5 horas.
- Zona C.- Aumento moderado de temperatura hasta los 850°C en 6 horas.
- Zona D.- Inicio del enfriamiento del horno en 2 horas hasta los 790°C.

En la tabla 5.21 se muestra los rangos de temperatura del monitoreo para el bizcocho.

El horno tarda en enfriarse completamente de 5 a 6 días dependiendo del clima, una vez frío se procedió a sacar las tejas para el siguiente proceso de vidriado.

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-300	6
B	300-670	5
C	670-850	6
D	850-790	2
Total		19

Tabla 5.21 Rangos de temperatura para el bizcochado de tejas con el horno de tiro invertido.

5.2.4 SEGUNDA QUEMA PARA EL VIDRIADO EN HORNO DE TIRO INVERTIDO

5.2.4.1 VIDRIADO DE TEJAS.

En el vidriado se utilizó las dos fritas, EFA 80 y A5 8200, se prepararon los esmaltes con las cantidades de agua que se indican en la sección 5.3, a continuación se procedió a bañar el lomo de la teja con el esmalte con la ayuda de una jarra, luego se esperó a que se sequen como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9 Tejas esmaltadas con frita EFA 80 y A5 8200.

5.2.5 QUEMA EN HORNO DE TIRO INVERTIDO

Se realizaron cuatro pruebas en el horno de tiro invertido, las tejas fueron quemadas conjuntamente con ladrillos en todas las pruebas ya que los artesanos semimecanizados deben cumplir con la demanda de este producto, se trató de no alterar su producción ni hacerles perder su tiempo.

5.2.5.1 PRIMERA PRUEBA

La primera carga se realizó con 20 tejas y fueron colocadas sobre los ladrillos a una altura de 1,80m, a una distancia desde la entrada de la carga cerámica de 1,30 m y a una distancia de la pared lateral izquierda de 1,5m, una segunda carga fue colocada cerca de la zona media de la cúpula sobre los ladrillos, y una tercera carga fue colocada cerca de la pared lateral izquierda justo encima de la tercera boca de combustión a una altura de 1,7m y una distancia de la pared de 70 cm. Una vez cargado el material se procedió al encendido del horno, el monitoreo de temperaturas se realizó con las dos termocuplas instaladas en el horno y con un termómetro digital perteneciente al proyecto EELA, la ubicación de las tejas y de las termocuplas se muestran en la Figura 5.10

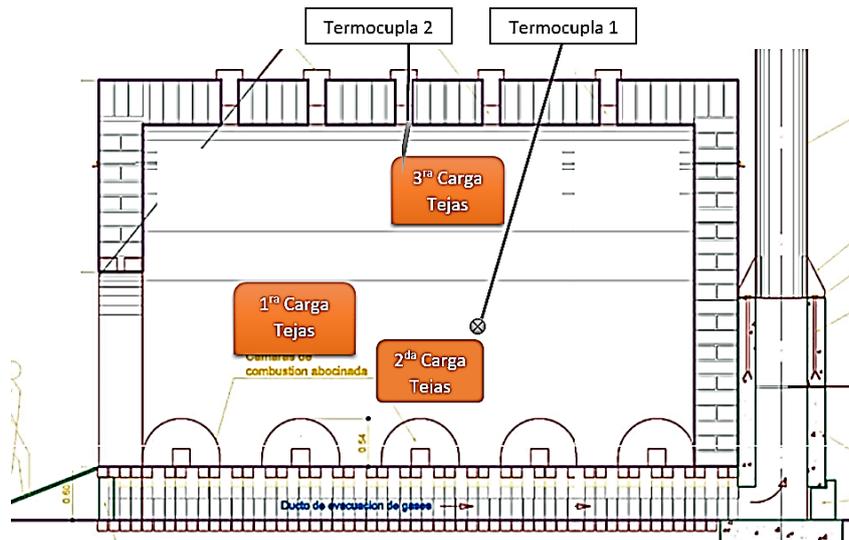


Figura 5.10 Sección del Horno de tiro invertido con la ubicación de las tejas vidriadas y termocuplas.

El resultado del monitoreo realizado con la termocupla 1 se muestran en la Figura 5.11, y para la termocupla 2 se muestra en figura 5.12

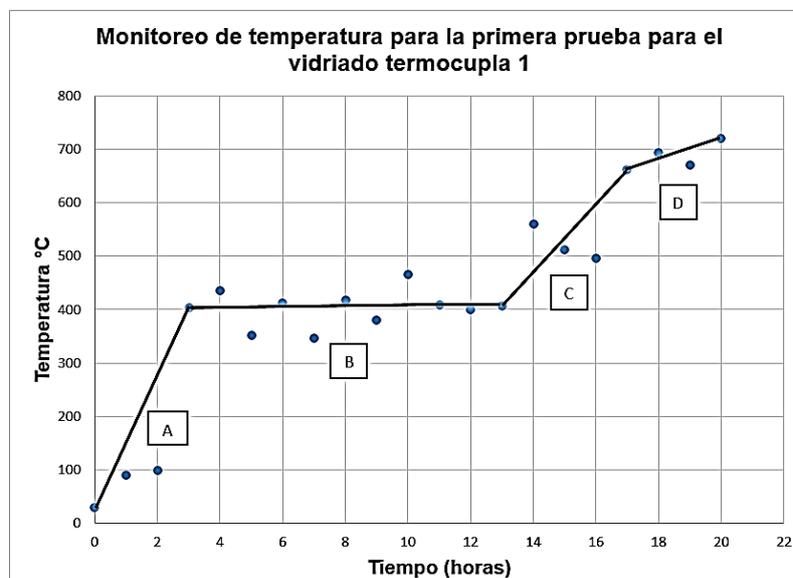


Figura 5.11 Monitoreo de temperaturas con la termocupla 1 para la primera prueba en el vidriado.



Monitoreo de temperaturas en la cúpula para el vidriado termocupla 2

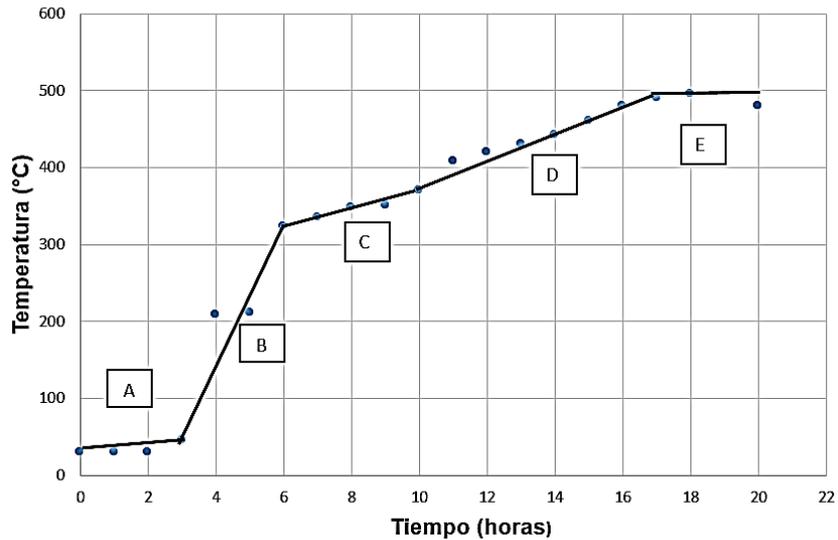


Figura 5.12 Monitoreo de temperaturas con la termocupla 2 en la cúpula para la primera prueba en el vidriado.

En la tabla 5.22 y 5.23 se muestran los rangos de temperaturas de los monitores para la primera prueba en el vidriado.

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-400	3
B	400-400	10
C	400-660	4
D	660-720	3
Total		20

Tabla 5.22 Rangos de temperatura para la primera prueba para el vidriado termocupla 1.

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-45	3
B	45-325	3
C	325-370	4
D	370-490	7
E	490-480	3
Total		20

Tabla 5.23 Rangos de temperatura para la primera prueba para el vidriado termocupla 2 en la cúpula.

Los resultados de la primera carga y segunda carga se muestran en la Figura 5.13, como se puede observar la temperatura no fue suficiente para fundir las fritas.



Figura 5.13 Tejas con la frita no fundida luego de la primera prueba ubicadas en la cúpula y zona media del horno.

La tercera carga mostro una notable diferencia con respecto a las cargas anteriores, el vidrio parece haber fundido pero adquirió una tonalidad oscura y en otros casos un color verde oscuro como se muestra en la Figura 5.14,



Figura 5.14 Tejas con la frita fundida luego de la primera prueba ubicadas cerca de la tercera boca de combustión del horno.

5.2.5.2 SEGUNDA PRUEBA

A fin de tratar de alcanzar la temperatura propuesta de 1000°C, como se indicó por parte del proyecto EELA a la que iba a llegar este horno y en base a cuya información se planteó este estudio, se procedió a realizar una segunda quema en el horno de tiro invertido.

Se cargaron 30 tejas y se ubicaron entre la primera y segunda boca de combustión de la pared lateral izquierda del horno a una distancia de la pared 60 cm y a una altura de 1,80 m, se monitoreó la temperatura con la

termocupla 1 en la misma ubicación anterior, y la termocupla 2 se colocó cerca de la ubicación de las tejas como se muestra en la Figura 5.15

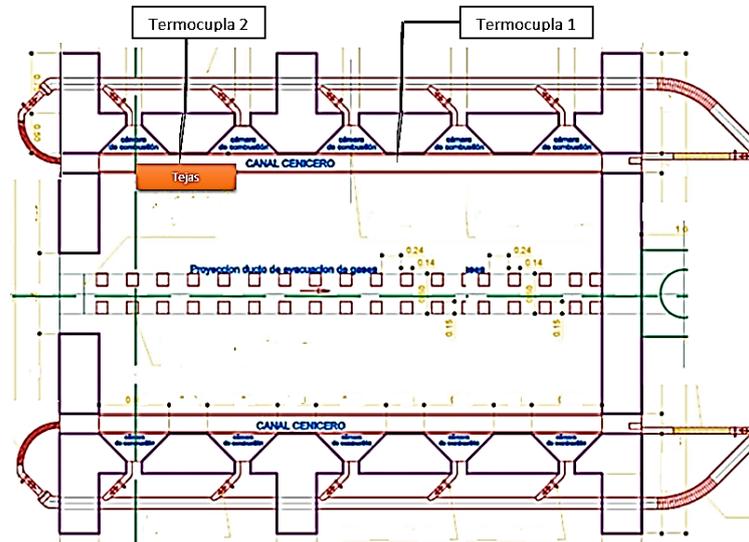


Figura 5.15 Sección del Horno con la ubicación de las tejas y la termocupla 2.

Los resultados del monitoreo con la termocupla 1 se muestra en la Figura 5.16, y con la termocupla 2 en la Figura 5.17

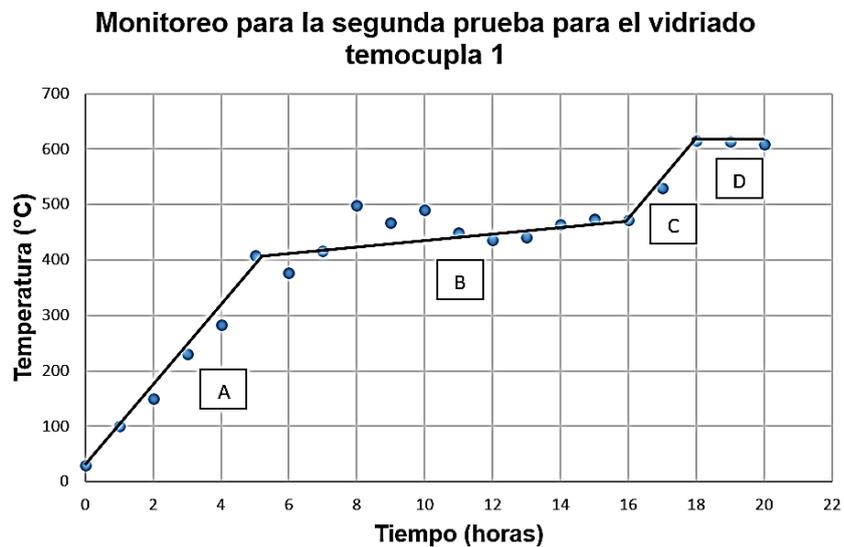


Figura 5.16 Monitoreo de temperaturas con la termocupla 1 para la segunda prueba en el vidriado.



Monitoreo para la segunda prueba vidriado termocupla 2

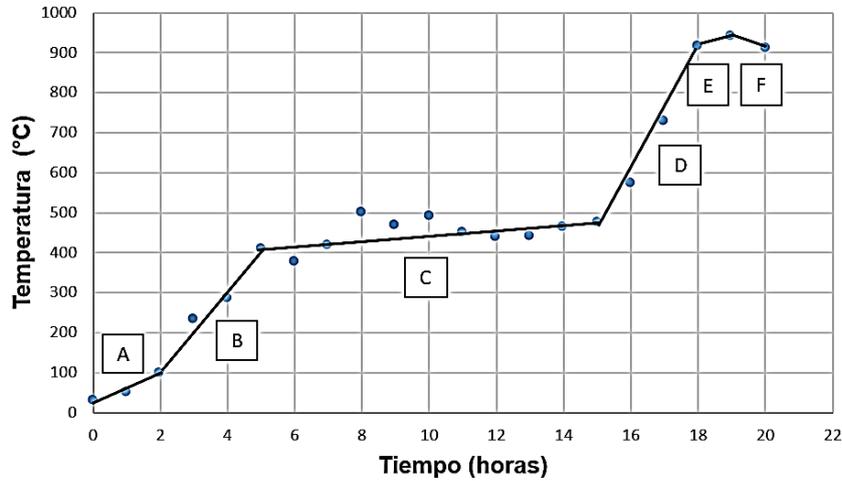


Figura 5.17 Monitoreo de temperaturas con la termocupla 2 para la segunda prueba en el vidriado.

En las tablas 5.24 y 5.25 se muestran los rangos de temperaturas de los monitores para la segunda prueba en el vidriado.

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-400	5
B	400-475	11
C	475-616	2
D	616-609	2
Total		20

Tabla 5.24 Rangos de temperatura para la segunda prueba para el vidriado termocupla 1.

Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-100	2
B	100-400	3
C	400-475	10
D	475-916	3
E	916-940	1
F	940-911	1
Total		20

Tabla 5.25 Rangos de temperatura para la segunda prueba para el vidriado termocupla 2.

En las Figuras 5.18 y 5.19 se observan las tejas después de la quema, como se puede observar las tejas tomaron un color negro y un color verde obscuro.



Figura 5.18 Tejas de color negro después de la segunda prueba en la quema con el horno de tiro invertido



Figura 5.19 Tejas de color verde oscuro después de la segunda prueba en la quema con el horno de tiro invertido.

5.2.5.3 TERCERA PRUEBA

La tercera prueba se realizó en el horno de Don Manuel Riera, el propietario de este horno trabaja con un exceso de aire, utiliza el ventilador principal propio del diseño del horno y unos ventiladores pequeños que coloca en cada boca de combustión, además utiliza como combustible el aserrín.

Esta prueba se realizó con 10 tejas y los resultados se muestran en la figura 5.20, como se puede observar los resultados para la Frita A5 8200 (que en la figura se encuentran en la parte inferior), la frita no fundió correctamente ya que las tejas fueron ubicadas en la parte media del horno y no cerca de las bocas de combustión como en el caso de EFA 80, el único inconveniente fue que al estar las tejas tan cerca de las bocas de combustión el aserrín y la ceniza se adhieren al vidrio dañando un poco su estética, la temperatura a la que llegó fue 850°C, no existen datos del monitoreo de temperatura para esta prueba.



Figura 5.20 Resultados de la tercera prueba con frita EFA 80 y A5 8200.

5.2.5.4 CUARTA PRUEBA

Esta fue la última prueba y se realizó en el horno de Don Manuel Riera, las tejas se ubicaron cerca de la primera boca de combustión a una distancia de 60 cm y una altura de 1,85 m, el resultado de estas pruebas fueron mejores en comparación a las pruebas anteriores, como se muestra en la Figura 5.21, las tejas en la parte superior de la Figura pertenecen a la Frita A5 8200 y las tejas de la parte inferior a EFA 80.



Figura 5.21 Tejas vidriadas luego de la última quema realizada en el Horno de Manuel Riera.

No se realizaron los monitoreos ya que el termómetro digital estuvo en reparación, pero en base a los resultados de monitoreo realizados y presentados por el proyecto EELA (Gavilanez, 2015) y los monitoreos realizados por el propietario, ver A5.6, se realizó una estimación de una curva de cocción utilizando un modelo polinomial de orden 5 por el método mínimos cuadrados, el modelo ajustado se muestra en la ecuación 5.1 y con la ayuda de este modelo se obtuvo la curva de cocción estimada para estas pruebas ver Figura 5.22



$$T = 28,3377 + 117,2542 * \theta - 53,9136 * \theta^2 + 15,8836 * \theta^3 - 1,6202 * \theta^4 + 0,0541 * \theta^5 \quad [5.1]$$

Donde:

T=temperatura en °C

θ =tiempo en horas.

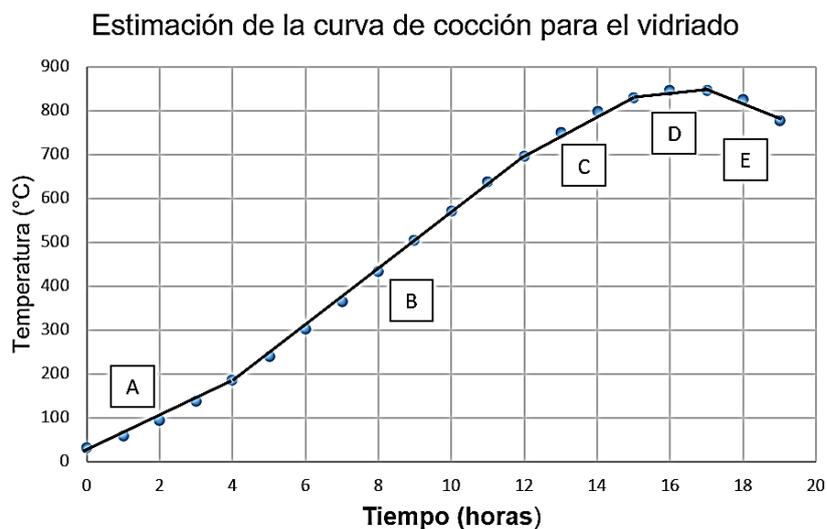


Figura 5.22 Curva de cocción estimada para el vidriado en el horno de tiro
Las zonas típicas para el vidriado se muestran en la Figura 5.22,

- La zona A.- Se observa un aumento de la temperatura en fase de precalentamiento desde la temperatura de 30 °C hasta los 185°C en 4 horas
- La Zona B.- Aumento rápido de temperatura desde los 185°C a los 700°C en 8 horas,
- La Zona C.- Aumento moderado de temperatura desde los 700°C hasta los 830°C en 3 horas,
- Zona D.- Asenso de la temperatura desde 830°C a 845°C en 2 horas.
- Zona E.- Comienzo del enfriamiento de 845°C a 780°C en 2 horas.

En la tabla 5.26 se muestra los rangos de temperatura de la curva de cocción estimada para la prueba con mejores resultados en la quema en el horno de tiro invertido. El horno tarda en enfriarse completamente de 5 a 6 días dependiendo del clima.



Zona	Rangos de temperatura °C	Horas
A	30-185	4
B	185-700	8
C	700-830	3
D	830-845	2
E	845-780	2
Total		19

Tabla 5.26 Rangos de temperatura para la última prueba para el vidriado

5.3 PRUEBAS EN EL HORNO ELÉCTRICO

En vista que durante las pruebas el horno de tiro invertido no se llegó a la temperatura de 1000°C, se decidió realizar las quemadas en el horno eléctrico del laboratorio de cerámica de la Universidad de Cuenca, se realizó el bizcocho a 1000°C y el vidriado a 900°C los ciclos de quema se muestran en el A5.4, las tejas vidriadas con la frita EFA 80 se muestran en la Figura 5.23, y los resultados con la frita A5 8200 se muestran en la Figura 5.24.



Figura 5.23 Tejas vidriadas con la frita EFA 80 quemadas en el horno eléctrico



Figura 5.24 Tejas vidriadas con la frita A5 8200 quemadas en el horno eléctrico



5.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION Y ABSORCION DE AGUA

Se realizaron los ensayos de resistencia a la flexión y absorción de agua según las Normas INEN 0988 e INEN 0989 respectivamente. Los ensayos de resistencia a la flexión se realizaron en el laboratorio de construcciones y aplicaciones bioclimáticas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, el informe emitido se muestra en el A 5.7 y los ensayos de absorción se realizó en el laboratorio de cerámica de la Universidad de Cuenca, se aplicaron estos ensayos a las tejas bizcochadas en el horno de tiro invertido, las tejas vidriadas de la última prueba en el horno de tiro invertido y las tejas quemadas en el horno eléctrico. El resultado de la prueba para la resistencia a la flexión se muestra en la Tabla 5.27 y para la absorción en la tabla 5.28.

	Horno de tiro invertido	Horno Eléctrico
Tipo de teja	Carga a la rotura Kgf	Carga a la rotura Kgf
Bizcochada	35,0	63,75
Vidriada EFA 80	58,4	68,00
Vidriada A58200	56,6	61,60

Tabla 5.27 Resultados de la resistencia a la flexión de las tejas.

	Horno de tiro invertido	Horno Eléctrico
Tipo de teja	% Absorción de agua	% Absorción de agua
Bizcochada	17,406	17,275
Vidriada EFA80	17,194	16,724
Vidriada A58200	16,875	16,087

Tabla 5.28 Resultados de % Absorción de agua en las tejas.

5.4.1 COMPARACIÓN ENTRE TEJAS SEMIMECANIZADAS ORIGINALES, TEJAS QUEMADAS EN EL HORNO DE TIRO INVERTIDO Y TEJAS QUEMADAS EN EL HORNO ELÉCTRICO.

Se realizó la comparación entre los resultados de los ensayos de carga a la rotura y absorción de agua de las tejas semimecanizadas originales, las tejas quemadas en el horno de tiro invertido y tejas quemadas en el horno eléctrico.

La comparación entre los resultados para la resistencia a la carga a la rotura de las tejas semimecanizadas y las quemadas en el horno de tiro invertido



se muestra en la Tabla 5.29 y para él % de absorción de agua en la tabla 5.30.

	Semimecanizadas		Horno de tiro invertido	
Tipo de teja	Carga Roturo Kgf	Tipo de teja	Carga a la rotura Kgf	% aumento
Bizcochada	46,51	Bizcochada	35,00	-24,70
Vidriada artesanal	49,29	Vidriada EFA80	58,40	18,50
Vidriada artesanal	49,29	Vidriada A58200	56,60	14,80

Tabla 5.29 Comparación entre tejas semimecanizadas y quemadas en horno de tiro invertido para la resistencia a la flexión.

	Semimecanizadas		Horno de tiro invertido	
Tipo de teja	%Absorción	Tipo de teja	%Absorción	% disminuye
Bizcochada	18,40	Bizcochada	17,40	5,40
Vidriada artesanal	17,72	Vidriada EFA80	17,19	3,00
Vidriada artesanal	17,72	Vidriada A58200	16,87	4,80

Tabla 5.30 Comparación entre tejas semimecanizadas y quemadas en horno de tiro invertido para él % Absorción de agua.

La comparación entre los resultados para la resistencia a la carga a la rotura de las tejas semimecanizadas y las quemadas en el horno eléctrico se muestra en la tabla 5.31 y para él % de absorción de agua en la tabla 5.32.

	Semimecanizadas		Horno eléctrico	
Tipo de teja	Carga Roturo Kgf	Tipo de teja	Carga a la rotura Kgf	% aumento
Bizcochada	46,51	Bizcochada	63,75	37,10
Vidriada artesanal	49,29	Vidriada EFA80	68,00	38,00
Vidriada artesanal	49,29	Vidriada A58200	61,60	25,00

Tabla 5.31 Comparación entre tejas semimecanizadas y quemadas en eléctrico para la resistencia a la flexión.



	Semimecanizadas		Horno eléctrico	
Tipo de teja	%Absorción de agua	Tipo de teja	%Absorción de agua	% disminuye
Bizcochada	18,40	Bizcochada	17,28	6,1
Vidriada artesanal	17,72	Vidriada EFA80	16,72	5,6
Vidriada artesanal	17,72	Vidriada A58200	16,09	9,2

Tabla 5.32 Comparación entre tejas semimecanizadas y quemadas en eléctrico para el % de absorción de agua.

5.5 DETERMINACIÓN DE PLOMO EN TEJAS VIDRIADAS.

Se realizó el análisis químico para determinar la cantidad de plomo lixiviado por acción de ácidos en las tejas vidriadas quemadas en el horno de tiro invertido y en el horno eléctrico, los ensayos se realizaron en los laboratorios del CESEMIN y el método fue de lixiviación acida (PH 5) y absorción atómica, el reporte emitido se encuentra en A 5.8, y los resultados se muestran en la Tabla 5.33

	Horno de tiro invertido	Horno eléctrico
Tipo de teja	Plomo mg/kg	Plomo mg/kg
Vidriada EFA 80	0,52	N.C
Vidriada A5 8200	0,56	N.C

Tabla 5.33 Análisis de plomo en tejas vidriadas con la frita EFA 80 y A5 8200

5.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el acople pasta vidrio se puede analizar las dilatométricas de la pasta semimecanizada y las dilatométricas de los experimentos seleccionados, los resultados de las curvas de dilatación se muestran los anexos A5.1 y A5.2, se puede observar un incremento acelerado en la dilatación en rangos de temperatura determinados, la amplitud de esta dilatación viene dada por la diferencia en el porcentaje de cambio lineal, este incremento es el efecto del cuarzo libre que existe en la pasta quemada conocido como punto cuarzo, para la pasta semimecanizada es de un 0,05% en un rango de 575°C a 600°C, y para los experimentos quemados a 850°C para el bizcocho es de 0,03% en rangos de temperatura de 575°C a 600°C, para los mismos experimentos quemados a 1000°C para el vidriado es de 0,04% en rangos de temperatura de 575°C a 600°C. En todos los rangos de temperatura del



ensayo el coeficiente de dilatación térmica de la pasta semimecanizada es menor a las pastas de los experimentos como se observa en las tablas 5.2, 5.3, 5.4, así aunque la pasta semimecanizada posea un amplitud de punto cuarzo mayor a la de los experimentos quemados a 850°C este no deja de tener un valor de coeficiente de dilatación menor, los coeficientes de dilatación de las pastas quemadas a 1000°C son mayores al valor de la pasta semimecanizada pero no son mayores a la pasta quemada para el bizcocho, esto indica que el coeficiente de dilatación de los experimentos quemados a 1000°C disminuyeron al ser previamente bizcochadas.

De la tabla 5.5 que corresponde al análisis químico de las fritas se observa que la frita EFA 80 contiene plomo, pero esté se encuentra previamente fritado lo que disminuye el riesgo a la exposición del mismo, la frita AT también contiene una mínima cantidad de plomo. En las curvas de dilatación que se muestran en los anexos A5.4, se observa un aumento acelerado en la dilatación en ciertos rangos de temperatura para las fritas, este aumento no es el efecto del cuarzo libre ya que esté en las fritas se encuentra en un estado amorfo y su coeficiente de dilatación es muy bajo, el aumento brusco se deben al alto contenido de fundentes de sodio y de potasio como se indican en la tabla 5.5, pero eso no implica que no se puede calcular esta amplitud en la dilatación, así se tiene para la frita EFA 80 en el rango de temperatura de 500°C a 620°C con un 0,2% , siendo para la frita A5 8200 en un rango de 575°C a 625°C es de un 0,11% y para AT en el rango 550°C a 620°C es de 0,3% siendo esta de monococción y de fusión rápida. Los coeficientes de dilatación térmica de las fritas son mayores a los coeficientes de las pastas, esta diferencia provoca fuerzas de tensión entre el soporte y el esmalte, el esmalte queda sometido a un esfuerzo de tracción y la pasta a una de compresión lo que provoca el craquelado, mientras mayor sean las diferencias entre estas fuerzas más fino el craquelado esto se ve reflejado en la figuras 5.2 y 5.3, este defecto se produce durante el enfriamiento de la pieza.



Los resultados de las contracciones luego de moler los materiales Roja de Cumbe y Arenosa de Buenos Aires hasta pasar por abertura de 1mm que se muestran en la tabla 5.9, dieron porcentajes de contracciones menores a los experimentos pasados por abertura 2,38mm, y los experimentos que cuyos materiales fueron pasados abertura de 0,5mm dieron porcentajes de contracciones mayores a los anteriores.

Las contracciones de los experimentos modificados con sílice y materiales pasantes abertura 2,38mm con la frita EFA 80 de la tabla 5.12, muestran contracciones muy bajas y en otros casos unas ligeras expansiones luego del ciclo de quema para el bizcocho. Las contracciones para la quema de 1000°C son muy bajas esto se debe a que esta contracción es tanto de la pasta como del vidrio, el vidrio al ejercer fuerzas de compresión y la pasta al ejercer fuerzas de tracción provocan una resultante dando estos valores de contracción de la pieza y un craquelado fino que se muestra en la figura 5.5.

Para las pruebas con los experimentos modificados con sílice y materiales pasantes abertura 0,5mm utilizando la frita A5 8200 cuyos resultados se muestran en la tabla 5.13, se observa que para el bizcocho los resultados de contracción son bajos y en algunos casos existen unas pequeñas expansiones. Para la quema de 1000°C los resultados de contracción son ligeramente mayores que los experimentos modificados utilizando la frita EFA 80 a excepción del experimento 3++, el craquelado disminuye notablemente como se observa en la figura 5.4 las grietas que antes eran finas ahora son más gruesas lo que indica que las fuerzas de tensión entre la pasta y el vidrio son menores. Para los experimentos modificados con sílice, ciclo de quema modificada, pasante malla 8 y vidriados con la frita EFA 80 los resultados de la contracción a la primera quema de 1000 °C que se muestran en la tabla 5.14 son muy bajos y en algunos casos presentan ligera expansión, para el vidriado a 900°C las contracciones son bajas, en estos experimentos no disminuyó el craquelado. Para los experimentos modificados con sílice, ciclo de quema modificada, pasante por abertura 0,5mm y vidriados con A5 8200 los resultados de la contracción se muestran



en la tabla 5.15 para el bizcocho y el vidriado son bajos y otros casos presentan expansión, en estos experimentos el craquelado disminuye.

Los mejores resultados disminuyendo el craquelado fueron con los experimentos 6++, 7++, 3+++ y 3++ con el ciclo de quema de bizcocho a 1000°C y vidriado a 900°C modificado y con la frita A5 8200, las dilatométricas de estos experimentos se muestran en A5.6, para el bizcocho se observa las amplitudes del punto cuarzo para 3++ es de un 0,08% en un rango de temperatura de 575 °C a 620 °C, para 3+++ es de un 0,105% en un rango de temperatura de 575 °C a 620 °C, para 6++ un 0,07% en 575 °C a 620 °C y para 7++ un 0,07% en 575 °C a 620 °C. El mejor resultado es para el experimento 3+++ que al comparar la amplitud del punto cuarzo y la amplitud de la frita A5 8200 solo difieren en 4.5% pero al comparar con EFA 80 la diferencia es de 47,5%, al relacionar los coeficientes de dilatación entre la pasta 3+++ y la frita A5 8200 en el rango de 20°C a 500°C existe una razón de 0,85 y en un rango de 20°C a 600°C una razón de 0,96, mientras más se acerque a 1 esta relación mejor es el acople; además los resultados de la figura 5.6 demuestran que si existe un buen ajuste entre la pasta 3+++ y la frita A5 8200. Los resultados de las quemas a 900°C con estos experimentos demuestran que la amplitud del punto cuarzo disminuye con el bizcochado, es posible que esto se deba a que en la primera quema el cuarzo pase a la fase fluida y disminuya su concentración, por tanto disminuyan los coeficientes de dilatación. Hay que tomar en cuenta que el buen acople de estos experimentos no solo se debe a la sílice sino también a la disminución del tamaño de grano de los materiales presentes en la pasta, ya que se encuentran mejor distribuidos aumentando la estabilidad de la pieza durante y después de la quema, con esto se evita los granos grandes ya que estos provocan diferentes coeficientes de dilataciones y micro fisuras en la pieza lo que no es favorable para el acople con la frita.

Tomando en cuenta que los artesanos semimecanizados no poseen los equipos adecuados ni el material sílice para realizar los cambios efectuados durante el acople pasta vidrio se debe de seleccionar un experimento para



las pruebas en el horno de tiro invertido. El experimento 8 cumple con un buen moldeo y con la norma INEN 0990 como se indica en la tabla 5.1, también posee la mejor resistencia a la carga a la rotura como se indica en las tablas 5.16 y 5.17, por estas razones fue seleccionada para las pruebas en el horno de tiro invertido.

Los monitores de temperatura que se muestran en la sección 5.7 del capítulo 5 demuestran que el horno no llegó a la temperatura de 1000°C que era necesaria para el vidriado, por esto en la primera prueba la mayoría de las tejas no vidriaron, en esta misma prueba las tejas colocadas cerca de la tercera boca parecen haber vidriado pero este vidriado tiene defectos como se muestra en figura 5.14, una teja adquirió un color oscuro y otra un color verde y otra con contaminación con partículas, el color oscuro es por la presencia de humo que durante el fundido del vidrio se ha adherido a éste y a la teja en una atmósfera reductora, esto también produce la reducción del óxido férrico a óxido ferroso que aporta manchas verdosas al contacto con el humo, la presencia de eflorescencias se debe al combustible, como es un horno de llama directa el anhídrido sulfúrico producto de la combustión con elementos metálicos presentes en la pasta forman sulfatos solubles que suben a la superficie del vidrio y se condensan. En la segunda prueba también existieron defectos debido al combustible y los humos. En la tercera y cuarta prueba se utiliza un exceso de aire y se utiliza aserrín lo que produce una combustión más completa y menos defectos en las piezas como se muestra en la figura 5.21, la ubicación para un buen vidriado se indica en la 5.7.2.4.

De la tabla 5.29 las tejas bizcochadas en el horno de tiro invertido tienen menor carga a la rotura que la teja bizcochada en el horno artesanal, es posible que esto sea consecuencia de una mala vitrificación de la pieza ya que el horno no llegó a la temperatura adecuada, en los demás casos la resistencia es mayor como se indica en dicha tabla. De la tabla 5.30 las absorciones de agua de las tejas quemadas en el horno de tiro invertido son menores a las de las tejas semimecanizadas. Los resultados de la tabla 5.31



UNIVERSIDAD DE CUENCA

demuestran que la carga a la rotura de las tejas quemadas en el horno eléctrico es mucho mayor que las tejas quemadas en el horno de tiro invertido y artesanales, las tejas bizcochadas y vidriadas en el horno eléctrico dieron cargas a la rotura superiores, para bizcochadas en un 63,75 kgf, con EFA 80 un 68,00 Kgf, y 61,60 Kgf con A5 8200, y absorciones más bajas que las tejas quemadas en el horno de tiro invertido y que las tradicionales, para bizcochadas 17,28%, EFA 80 16,72%, A5 8200 un 9,2% como se muestra en la tabla 5.32.



CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSIONES

1. Se concluye que las arcillas más utilizadas por los artesanos semimecanizados según las encuestas realizadas son; la Fina de Santa Ana o Cera que es utilizada en proporciones desde 14% al 50% y la arcilla Roja de Cumbe que es utilizada en proporciones de 14% al 50% siendo la Arenosa de San Miguel y Arenosa de Buenos Aires usadas en proporciones de 33% a 43%, y la Morada y Roja de Buenos Aires entre 14,28% y 14,30%. El vidrio con plomo es utilizado por un 89% de artesanos semimecanizados y un 11% utiliza frita EFA 80. La teja industrial curva es producida en un 80%, el 18% produce teja artesanal y el 2% produce ladrillo. Y el 100% utiliza hornos artesanales.
2. Se concluye que las materias primas utilizadas por los artesanos semimecanizados son arcillas comunes, de una amplia variedad plástica según el diagrama de Casagrande, la arcilla Cera es de alta plasticidad con un $IP=25,49$, las arcillas Arenosa de San Miguel y Roja de Cumbe tienen un IP de 12,13 y 10,72 respectivamente son de mediana plasticidad, las arcillas Arenosa de Buenos Aires y Roja de Buenos Aires tienen un IP de 9,28 y 15,69 respectivamente son de mediana comprensibilidad, y la arcilla Morada con $IP=7,12$ es de baja plasticidad. Tras la quema dan pasta coloreadas gracias a su contenido en hierro mayor al 4%, y poseen temperaturas de fusión bajas. El análisis químico de los vidrios de los artesanos semimecanizados demuestra la existencia del óxido de plomo en muy altos porcentajes, siendo de los artesanos semimecanizados un 62,91%.
3. Con el diseño experimental de mezclas se concluye que se puede utilizar 4 arcillas: Cera, Roja de Cumbe, Arenosa de Buenos Aires, Morada, de las 6 usadas por los artesanos semimecanizados, las arcillas eliminadas fueron la Arenosa de San Miguel ya que sus propiedades son similares a la Roja de Cumbe así como tampoco se elige la arcilla Roja de Buenos Aires cuyas propiedades son parecidas



a la Arenosa de Buenos Aires, sus diferencias están en las cantidades de hierro pero ya se toma para esto en cuenta la Roja de Cumbe y la Morada.

4. El diseño experimental de mezclas permite determinar la influencia de las arcillas en las respuesta así se concluye que en el simplex, mientras los experimentos más se acerquen al vértice de la arcilla Cera aumentan el porcentaje de contracción al secado hasta llegar a un máximo de 14,88%, a la quema hasta llegar a un máximo de 1,55%, carga a la rotura hasta un 9,05 Kgf y disminuye % absorción de agua hasta llegar a 6,06%, cerca del vértice de la arcilla Roja de Cumbe la contracción al secado disminuye hasta llegar 6,32% y aumenta la contracción a la quema hasta llegar a un 0,902%. Cerca del vértice de Arenosa de Buenos Aires la contracción a la quema disminuye hasta 0,705%, la carga a la rotura disminuye hasta 4,91 Kgf y aumenta el %absorción de agua a 22,23%, para la arcilla Morada disminuye la contracción al secado hasta llegar 5,34%, disminuye % de absorción de agua hasta un 15,51% y aumenta carga a la rotura a 13,27 Kgf.
5. Se encontró una zona factible para realizar pastas bajo las mismas condiciones de elaboración de los artesanos semimecanizados con los experimentos en placas, en fracciones para Cera entre 0,10 y 0,35, para Roja de Cumbe entre 0,05 a 0,40, Arenosa de Buenos Aires entre 0,10 a 0,5 y para la morada entre 0,10 a 0,60 en esta zona las respuestas para la contracciones al secado va desde 7% a 8,6%, contracción a la quema entre 1,16% a 1,63% y % de absorción de H₂O entre 12,00% a 16,50% y carga a la rotura entre 23,45Kgf a 33,90Kgf, el experimento 8 es el mejor en este rango superando en un 53,54% en carga a la rotura y disminuye el % de absorción de H₂O en un 13,15%.en comparación a las pastas tradicionales.
6. De los análisis ANOVA se concluye que el modelo cuadrático se ajustó para él %contracción al secado, %contracción a la quema a 850°C y %contracción total, los modelos son significativos con un



valor $p < 0,001$ y con $R^2_{ajustados} > 70\%$, se ajustaron modelos cuadráticos con un valor $p < 0,5$ y $R^2_{ajustados} > 70\%$ con él % de contracción a 1000°C y con carga a la rotura, para él % de absorción de agua el aporte del modelo cuadrático no es significativo para ningún valor menor de $\alpha = 0,1$ y el valor p es mayor a $0,1$, esto nos lleva a concluir que el aporte del modelo cuadrático con respecto al lineal no es significativo y se puede eliminar el término cuadrático, el modelo lineal con un $p < 0,001$ y $R^2_{ajustados} > 70\%$ fue elegido para este caso.

7. En el caso del acople se concluye que con una molienda más fina de las arcillas, que el 100% pase por el tamiz de abertura de $0,5\text{mm}$, que el incremento de sílice libre como cuarzo con granulometría de $0,5\text{mm}$ y en el porcentaje de 30%, con reducción de las arcillas cera en 12,5%, 15% arcilla Arenosa de Buenos Aires y 2,5% de Morada, y con los cambios en la cocción para el Bizcocho a 1000°C y para el vidriado a 900° se logró reducir el craquelado con la frita A5 8200, el experimento 3+++ es la prueba de esto.
8. Se concluye que es necesario llegar a la temperatura de 1000°C al utilizar el horno de tiro invertido ya que si no se cumple esto no ocurre un buen vidriado, la pasta no llega a obtener un buen grado de vitrificación y así no se puede obtener un aumento en la carga a la rotura ni obtener absorciones bajas como se demostró con las pruebas de laboratorio. Las tejas elaboradas y bizcochadas con el experimento 8 y quemadas en el horno eléctrico superan en carga a la rotura en un 37,10% a las tejas elaboradas por los artesanos semimecanizados, las tejas vidriadas con la frita EFA 80 en un 38,00% en comparación con las tejas semimecanizados vidriadas con vidrio con plomo, con frita A5 8200 en un 25,00% con la tejas semimecanizados vidriadas con plomo, también él % de absorciones de agua disminuyó en comparación a las tejas tradicionales así para el bizcocho en un 6,10%, con la frita EFA 80 en 5,60%, y con la frita A5 8200 en 9,20%.



9. La concentración del plomo en las tejas vidriadas en el horno de tiro invertido para EFA 80 es de 0,52 mg/kg y para la frita A5 8200 es de 0,56 mg/kg, las tejas vidriadas en el horno eléctrico no fue cuantificado ya que el límite de cuantificación del plomo es igual a 0,25ppm del equipo del CESEMIN. Esto podría indicar que el plomo posiblemente puede venir para las tejas vidriadas en el horno de tiro invertido con las dos fritas, del ambiente de trabajo contaminado de los artesanos, y para las vidriadas con EFA 80 está lixiviando un poco del esmalte ya que no alcanzo la temperatura suficiente para garantizar que el plomo no se desprenda tras la cocción. Por esta razón para evitar el riesgo de exposición al plomo es preferible trabajar con la frita libre de plomo A5 8200.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar tejas con el experimento 8 bajo las mismas condiciones de elaboración de los artesanos semimecanizados, y con un ciclo de quema de bizcocho a 1000°C y un ciclo para el vidriado con la Frita A5 8200 de 900°C.
2. Las materias primas utilizados por los artesanos semimecanizados requieren de un tratamiento previo para obtener pastas más homogéneas con una mejor distribución del tamaño de grano, por lo que se recomienda realizar un estudio más profundo de esta parte para poder recomendar la adquisición de los equipos necesarios, se debe continuar con este trabajo realizando otras tesis que estudien procesos y determinen puntos donde se pueda mejorar el procesos aparte del ya indicado.
3. Una vez adquiridos los equipos necesarios se recomienda realizar una teja con la dosificación y las condiciones del experimento 3+++ , y realizar un vidriado con la frita A5 8200 para obtener una teja con un craquelado inferior a la de los artesanos semimecanizados. Además la frita A5 8200 no contiene oxido de plomo como en el caso de los vidrios artesanales. Si bien cuando se trata de realizar acoples pasta



vidrio se recomienda hacer variaciones de la pasta, debido a que los artesanos posiblemente no van a aceptar mayores cambios de los sugeridos en el proceso de molienda y de que la empresa productora de la frita Chivit esté dispuesta a mejorar su esmalte volviéndolo más blando o desarrollar uno nuevo en base a la información generada en las tesis realizadas mediante el convenio con el GAD municipal, en este caso se recomienda que se hagan los cambios en la frita. Además, en vista de las condiciones de trabajo de los artesanos, se sugiere que la empresa comercialice no como frita sino como esmalte preparado y listo para que los artesanos tengan que adicionarle con agua en las proporciones indicadas por la empresa.

4. Para la quema en el horno de tiro invertido, se recomienda utilizar leña o virusa que esté totalmente seca, utilizar un exceso de aire con ventiladores pequeños en las bocas donde se encuentren ubicadas las tejas.
5. Se recomienda que se continúe capacitando a los artesanos en el uso del horno de tiro invertido hasta lograr el propósito para el que fue diseñado, llegar a temperaturas más altas para tener procesos de quema eficientes. Una vez se haya realizado esto se debe estudiar el tiempo mínimo de mantención de las tejas vidriadas, para garantizar un vidriado óptimo con las fritas.
6. Se recomienda que los artesanos empiecen a considerar cumplir con los requisitos de Norma INEN 0990, y por otro lado también se revisen y se actualicen normas INEN para las tejas de acuerdo al mercado nacional.



BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, I. H. (2003). ANÁLISIS PRÓXIMO DE ARCILLAS PARA CERÁMICA. *REV. ACAD. COLOMB. CIENC.:* , 570-578.
- Brugueras, J. (1984). *Manual Practico de Ceramica*. Barcelona: Omega.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y Estadística par Ingenieros y ciencias*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo: Cengage learning.
- Dominguez, J. M., & Schifter, I. (1995). *Las Arcillas: El Barro Noble*. Mexico DF: Fondo de Cultura Economica, S.A. de CV.
- EELA. (2010). *Diagnostico Inicial del Sector Ladrillero Artesanal de Cuenca Informe de Indicadores del Proyecto*. Cuenca.
- EELA. (2013). Manual de construcción del horno de tiro invertido . págs. 2-22.
- EELA. (n/a). *Horno modelo cusco peru*. Cusco: Swisscontac.
- Escrig, M. C. (N/D de N/M de N/A). Composiciones de Fritas Ceramicas. *El Caminas Castello*, 2-50.
- Gavilanez, S. (2015). *Informe tecnico sobre la operacion del horno de tiro invertido piloto*. cuenca: n/e.
- Güeto, J. M. (2012). *Materias Primas Para Pasta Ceramica*. Madrid, Espana: Diaz de Santos.
- Mari, E. A. (1982). *Los Vidrios Propiedades Tecnologias de Aplicacion y Fabricacion*. Madrid: Americalee.
- Mclean, R. A., & Anderson, V. L. (1966). Extreme Vertices Design of Mixture Experiments. *Taylor & Franci, American Society for Quality*, 447-454.
- Norton, F. H. (1983). *Ceramica Fina* (Edicones Omega, S. A., Barcelona, 1983 ed.). (F. H. Norton, Ed., & L. M. Peñella, Trad.) Nueva York, EEUU: McGraw-Hill, Inc.
- NTE INEN 986. (1982). Tejas Ceramicas Definiciones, Clasificacion y Condiciones Generales. *Normas Tecnicas Ecuatorianas*, 1.
- OSHA. (n/a). *PEL para el plomo*.
- Peñaherrera, I. C. (2012). *Catedra Tecnologia de Ceramicas*. Universidad de Cuenca, Escuela de Ingenieria Quimica, Cuenca.
- Pullido, H. G., & Salazar, R. d. (2008). *Analisis y diseno de experimentos*. Mexico: McGraw-Hill interamericano.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Singer, F., & Singer, S. S. (1979). *Ceramica Industrial* (URMO. S.Ade Ediciones ed., Vol. 1). (S. S.Singer, Ed., & J. D. Sanz, Trad.) Londres, England: Chapman & Hall Ltd. Londres.

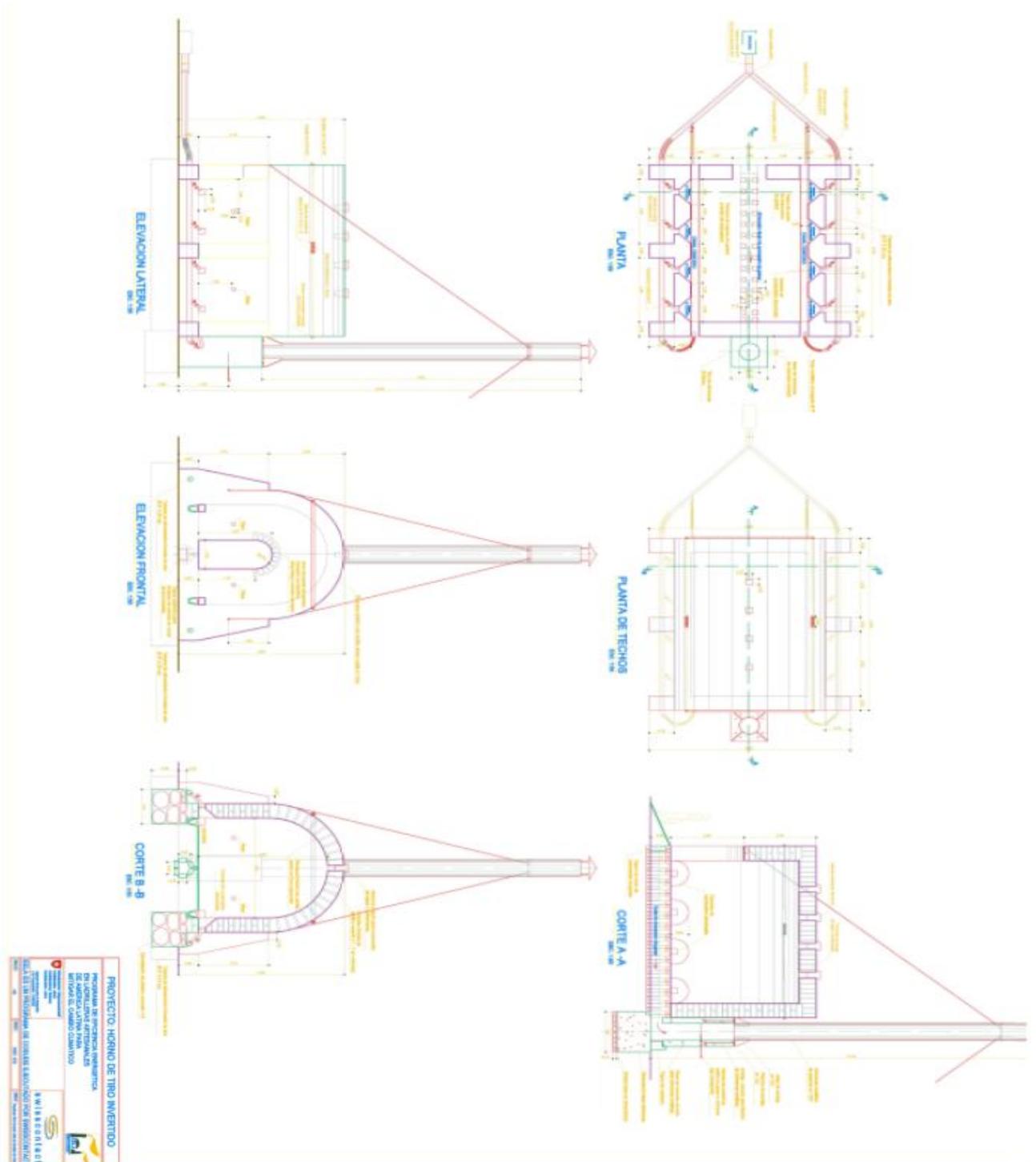
Tejas Ceramicas. (n.d). Tejas Ceramicas. *Materiales Ceramicos y otros productos*, 29. Obtenido de www.tejaceramicahdr.com/pdf/terminologia_tejas.pdf



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS ANEXOS DEL CAPÍTULO 2.

A3.1 PLANO DEL HORNO DE TIRO INVERTIDO





UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS CAPITULO 3

A 3.1

DETERMINACION DEL INDICE DE PLASTICIDAD

CARACTERISTICAS DEL APARATO

Aparato para límite líquido: Un aparato mecánico que consta de una taza de latón suspendido en un controlador de golpes a una base de caucho duro. El aparato es operado manualmente.



CALIBRACION DEL APARATO

- Antes de utilizar el aparato para el límite líquido se debe comprobar que esté limpio y funcionando correctamente.
- Reemplazar la taza cuando la herramienta acanalada ha hecho una depresión en la taza de 0.1 mm de profundidad. O cuando se ha reducido a la mitad el espesor original de la taza.
- Verificar además que la taza esté bien sujeta en su eje.
- Inspeccionar frecuentemente la herramienta acanalada y cambiarla cuando su punta este desgastada.
- Verificar que la altura de la base a la taza sea de 10 ± 0.2 mm.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

MATERIALES:

1. Tamiz malla 40
2. Balanza
3. Cápsula de porcelana
4. Espátula
5. Cuchara de plasticidad
6. Herramienta acanalada
7. Porta muestras
8. Estufa o analizador de humedad
9. Pinzas



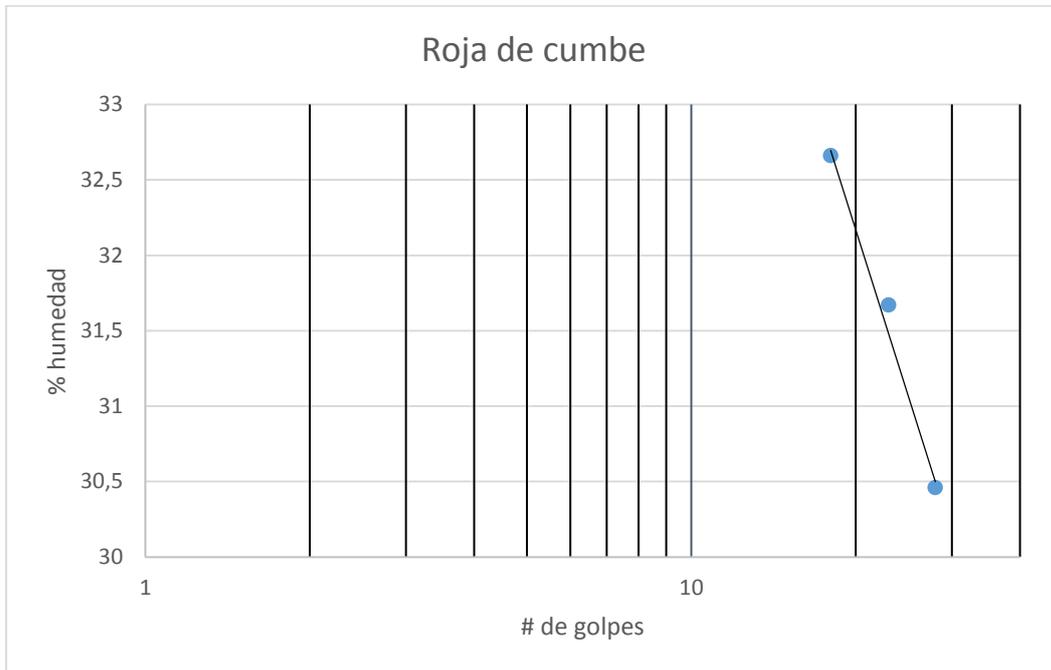
PROCEDIMIENTO:

1. Tomar 150 g de la muestra previamente tamizada en malla 40 y colocarlos en una cápsula de porcelana. Agregar agua hasta formar una masa que se homogeniza bien con la espátula.
2. Colocar un poco de la muestra preparada en la cuchara y alisar con la espátula.
3. Con la herramienta acanalada hacer una incisión en sentido vertical de tal forma que quede la masa separada en dos partes iguales.
4. Golpear la cuchara contra su base mediante la manivela hasta que la masa dividida se una unos 13 mm.
5. Anotar el número de golpes y tomar alrededor de 6 g de masa de la cuchara y colocarla en un porta muestras para determinar la humedad en la estufa a 120 °C por 24 horas o en el analizador de humedad hasta obtener peso constante.
6. Realizar 3 determinaciones: una entre 25 y 35 golpes, otra entre 20 y 30 golpes y otra en 15 a 25 golpes. Esto se consigue variando la cantidad de agua en cada prueba. Cuando se realiza la prueba en cada punto debe repetirse tres veces la determinación y no puede variar más de ± 1 golpe para que se acepte ese valor para ese punto. Entre cada punto debe existir como mínimo 5 golpes de diferencia.

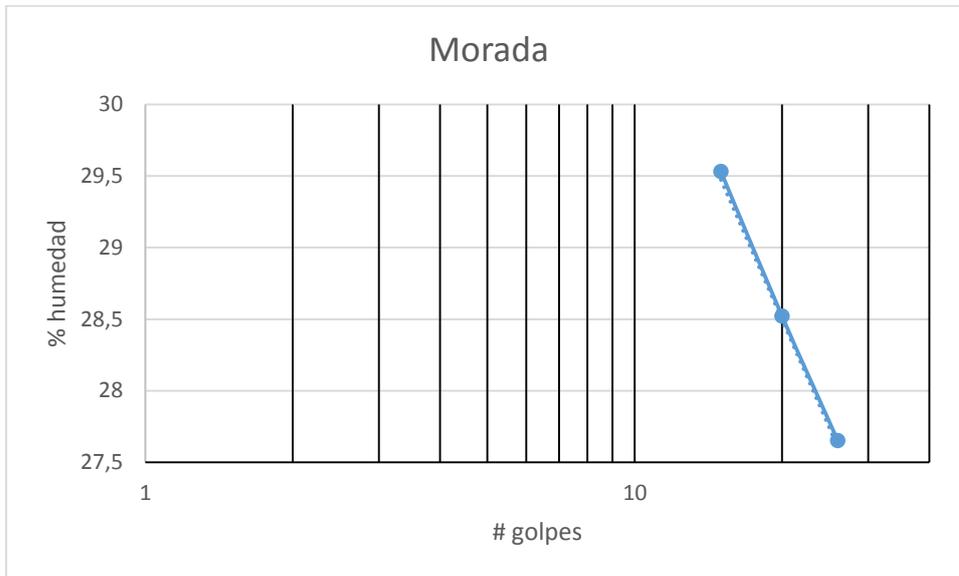
CALCULOS:

Con los datos obtenidos se grafica el número de golpes contra el porcentaje de humedad y, se determina el porcentaje de humedad que corresponde a 25 golpes, éste es el límite líquido.

Limite liquido	Arcilla	ROJA CUMBE
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	28	30,46
20-30	23	31,67
15-25	18	32,66
interpolación	25	31,2



Limite liquido	Arcilla	MORADA
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	26	27,65
20-30	20	28,52
15-25	15	29,53
interpolación	25	27,80



Limite liquido	Arcilla	ROJA BUENOS AIRES
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	28	40,73
20-30	23	42,05
15-25	15	43,65
interpolación	25	41,55



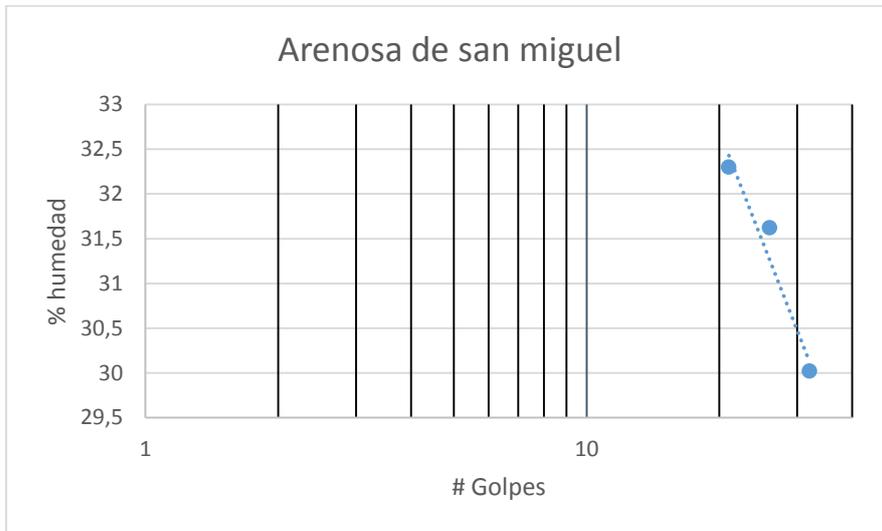
UNIVERSIDAD DE CUENCA



Limite liquido	Arcilla	ARENOSA SAN MIGUEL
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	32	30,02
20-30	26	31,62
15-25	21	32,30
interpolación	25	31,80



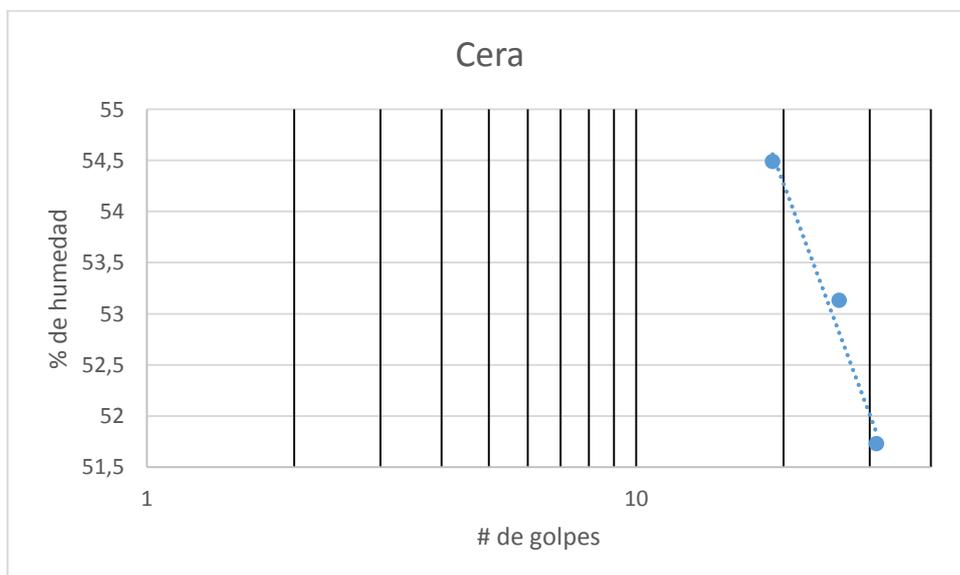
UNIVERSIDAD DE CUENCA



Limite liquido	Arcilla	ARENOSA BUENOS AIRES
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	34	36,61
20-30	26	37,31
15-25	22	38,14
interpolación	25	37,50



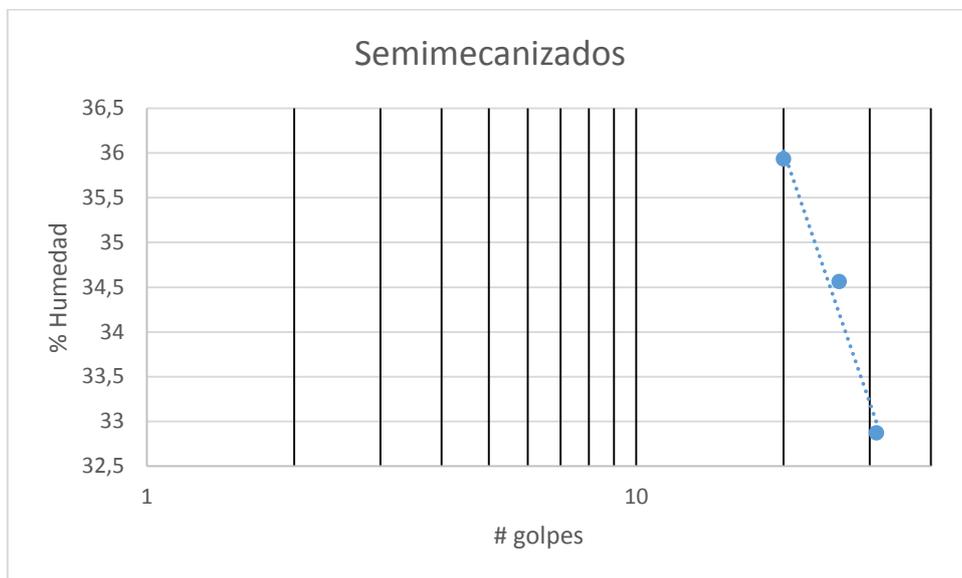
Limite liquido	Arcilla	CERA
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad
25-35	31	51,73
20-30	26	53,13
15-25	19	54,49
interpolación	25	53,35





UNIVERSIDAD DE CUENCA

Arcilla		Semimecanizados	
Rango de golpes	# Golpes	% Humedad	
25-35	31	32,87	
20-30	26	34,56	
15-25	20	35,93	
interpolación	25	34,80	





A 3.2

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

MATERIALES:

1. Tamiz malla 40
2. Cápsula de porcelana
3. Espátula
4. Balanza
5. Plancha de vidrio
6. Porta muestras
7. Estufa o analizador de humedad

PROCEDIMIENTO:

1. Colocar la muestra, previamente tamizada por malla 40, en una cápsula y añadir agua hasta formar una masa que se homogeniza bien con la espátula.
2. Tomar de 1,5 a 3 gramos de la masa y hacer sobre la placa de vidrio una cinta de aproximadamente 3 mm de diámetro, haciéndola con la mano perder humedad hasta el momento que aparezcan unas trizaduras a lo largo de toda la cinta, esto debe hacerse como máximo en 3 minutos, si no aparecen en ese lapso las trizaduras, debe formarse nuevamente otra cinta partiendo de una mezcla con menos humedad.
3. Cuando se obtienen las trizaduras cortar en pedazos y colocarlos en el porta muestras para determinar la humedad en la estufa a 120 °C por 24 horas o en el analizador de humedad hasta obtener peso constante. La cantidad de agua expresada en porcentaje, es el límite plástico.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

limite plástico	
Arcilla	ROJA CUMBE
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	20,34
2	20,62
promedio	20,48

limite plástico	
Arcilla	MORADA
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	20,49
2	20,86
promedio	20,675

limite plástico	
Arcilla	ROJA BUENOS AIRES
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	26,03
2	25,69
promedio	25,86



UNIVERSIDAD DE CUENCA

limite plástico	
Arcilla	ARENOSA SAN MIGUEL
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	18,96
2	19,72
3	20,34
promedio	19,67

limite plástico	
Arcilla	ARENOSA BUENOS AIRES
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	28,14
2	27,67
3	28,85
promedio	28,22

limite plástico	
Arcilla	CERA
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	27,92
2	27,80
promedio	27,86



UNIVERSIDAD DE CUENCA

limite plástico	
Pasta	semimecanizada
Nro. de Experiencia	% Humedad
1	19,88
2	21,29
3	22,04
promedio	21,07



A.3.3 Índice de plasticidad.

CALCULOS:

$$I_p = LI - L_p$$

Donde:

I_p = Índice de plasticidad

LI = Límite líquido

L_p = Límite plástico

MATERIAL	LIMITE LIQUIDO(LI)	LIMITE PLASTICO (L_p)	INDICE DE PLASTICIDAD (IP)
Morada	27,80	20,68	7,13
Roja de Cumbe	31,20	20,48	10,72
Roja de Buenos Aires	41,55	25,86	15,69
Arenosa de San Miguel	31,80	19,67	12,13
Arenosa de Buenos Aires	37,50	28,22	9,28
Cera	53,35	27,86	25,49

PASTA	LIMITE LIQUIDO (LI)	LIMITE PLASTICO (L_p)	INDICE DE PLASTICIDAD (IP)
Semi mecanizado	34,80	21,07	13,73



A3.4 CONTRACCION AL SECADO, A LA QUEMA Y TOTAL

CONTRACCION AL SECADO

MATERIALES:

1. Tamiz malla 8.
2. Moldes de yeso de 10 cm de largo x 5 cm de ancho x 1 cm de profundidad.
3. Calibrador "pie de rey".
4. Espátula.
5. Alambre de cobre, cuerda de guitarra o hilo nylon.

PROCEDIMIENTO:

1. Triturar la arcilla seca y/o pasar por malla 40, 100 u otra de acuerdo al uso que se vaya a dar al material o al requerimiento del cliente.
2. Amasar con una cantidad apropiada de agua, hasta que se crea que ha adquirido su máxima plasticidad. No debe ser demasiado húmeda hasta pegarse a los dedos, ni demasiado seca, lo que se determina por que las barras formadas de arcilla al doblarlas un poco, se quiebran fácilmente.
3. Formar tres o cuatro placas sobre un molde de yeso dando unos golpes para que el material se compacte bien. Con un calibrador o pie de rey se hacen lo más pronto posible, sobre la arcilla dos marcas de 5 cm cada una.
4. Sacar la placa del molde y dejar secar al ambiente (por 3 días).
5. Cuando las placas estén secas, medir nuevamente las marcas. La merma o contracción se indica en tanto por ciento de la longitud original.

CALCULOS:

$$\% \text{ CS} = (\text{Lo} - \text{Ls})100/\text{Lo}$$

Donde:

% CS = porcentaje de contracción al secado

Lo = longitud inicial de la marca (5 cm).

Ls = longitud final de la marca tras el secado



Arcilla	lo(mm)	Is1	Is2	Is promedio	Is	% contracción secado
CERA 1		43.05	43.00	43.03		
CERA 2		43.20	42.80	43.00		
CERA 3		42.00	42.35	42.18		
CERA 4		42.50	42.45	42.48		
CERA 5	50	41.70	42.55	42.13	42.56	14.88
ABA 1		44.85	44.80	44.83		
ABA 2		45.10	44.85	44.98		
ABA 3		45.05	45.10	45.08		
ABA 4		44.05	45.10	44.58		
ABA 5	50	45.10	44.90	45.00	44.89	10.22
RBA 1		44.40	45.10	44.75		
RBA 2		44.90	45.00	44.95		
RBA 3		44.65	44.20	44.43		
RBA 4		45.00	44.95	44.98		
RBA 5	50	45.45	45.25	45.35	44.89	10.22
RC1		46.50	46.85	46.68		
RC2		46.90	46.80	46.85		
RC3		47.20	47.05	47.13		
RC4		46.95	46.90	46.93		
RC5	50	46.30	46.90	46.60	46.835	6.33
M1		47.45	47.60	47.53		
M2		46.85	46.80	46.83		
M3		47.30	47.20	47.25		
M4		47.45	47.40	47.43		
M5	50	47.55	47.55	47.55	47.315	5.37
ASM1		45.90	46.35	46.13		
ASM2		45.75	45.70	45.73		
ASM3		45.60	45.75	45.68		
ASM4		45.90	46.35	46.13		
ASM5	50	45.30	45.60	45.45	45.82	8.36



Pasta semimecanizada.

SM1		44.80	44.65	44.73		
SM2		45.20	44.90	45.05		
SM3	50	45.35	45.25	45.30	45.025	9.95

CONTRACCION A LA QUEMA

MATERIALES:

1. Horno
2. Calibrador

PROCEDIMIENTO:

1. Quemar las placas de prueba de la contracción al secado a la temperatura indicada para la arcilla.
2. Después de la quema, medir la distancia entre las marcas y, la contracción lineal que se encuentra, será la merma de secado más la merma o contracción a la quema.

CALCULOS:

$$\% \text{ CQ} = (L_s - L_q) \times 100 / L_s$$

$$\% \text{ CT} = (L_o - L_q) \times 100 / L_o$$

Lq = Longitud de la marca después de la quema

Ls = Longitud de la marca tras el secado

CQ = Contracción a la quema

CT = Contracción total



Contracción a la quema 850°C

Arcilla	lq1	lq2	lqp	lq	%contracción a quema 850 °C
CERA 1	41.75	41.65	41.7		
CERA 2	41.95	41.7	41.825		
CERA 3	40.4	41.15	40.775		
CERA 4	41.3	41.85	41.575		
CERA 5	40.4	41.2	40.8	41.335	2.87828947
ABA 1	44.5	44.6	44.55		
ABA 2	44.95	44.6	44.775		
ABA 3	44.65	44.8	44.725		
ABA 4	43.8	45	44.4		
ABA 5	44.8	44.85	44.825	44.655	0.52350189
RBA 1	44.1	45	44.55		
RBA 2	44.9	44.9	44.9		
RBA 3	44.4	45.6	45		
RBA 4	44.9	44.8	44.85		
RBA 5	45.2	45.15	45.175	44.895	-0.01113834
RC1	46.6	47.1	46.85		
RC2	46.85	47.05	46.95		
RC3	47.2	47.2	47.2		
RC4	47.25	47.1	47.175		
RC5	46.45	47.2	46.825	47	-0.35230063
M1	47.4	47.65	47.525		
M2	46.5	47.1	46.8		
M3	47.45	47.45	47.45		
M4	47.7	47.4	47.55		
M5	47.7	47.25	47.475	47.36	-0.09510726
ASM1	45.85	45.8	45.825		
ASM2	45.65	45.65	45.65		
ASM3	45.45	45.65	45.55		
ASM4	45.9	46.3	46.1		
ASM5		45.5	45.5	45.725	0.20733304

Pasta semimecanizada.

SM1	44.7	44.8	44.75		
SM2	45.15	44.95	45.05		
SM3	45.25	45.3	45.275	45.025	0



Contracción a la quema 1000°C, materias primas.

	Lq3	Lq4	lqp	Lq2	% contraction 1000°C
CERA 1	41.1	41.3	41.2		
CERA 2	41.15	40.9	41.025		
CERA 3	39.9	40.65	40.275		
CERA 4	40.5	41.15	40.825		
CERA 5	39.7	40.6	40.15	40.695	1.548324664
ABA 1	44.1	44.2	44.15		
ABA 2	44.65	44.35	44.5		
ABA 3	44.25	44.55	44.4		
ABA 4	43.75	44.75	44.25		
ABA 5	44.35	44.4	44.375	44.335	0.716605083
RBA 1	43.65	44.45	44.05		
RBA 2	44.35	44.4	44.375		
RBA 3	44.5	44.6	44.55		
RBA 4	44.55	44.4	44.475		
RBA 5	44.65	44.7	44.675	44.425	1.046887181
RC1	46.1	46.6	46.35		
RC2	46.7	46.6	46.65		
RC3	46.8	46.8	46.8		
RC4	46.75	46.55	46.65		
RC5	46.3	46.5	46.4	46.57	0.914893617
M1	47	47.2	47.1		
M2	47.2	46.5	46.85		
M3	46.9	46.85	46.875		
M4	47.2	46.98	47.09		
M5	47.15	47.1	47.125	47.008	0.743243243
ASM1	45.6	46.05	45.825		
ASM2	45.4	45.55	45.475		
ASM3	45.35	45.4	45.375		
ASM4	46.65	46	46.325		
ASM5	45.5	45.35	45.425	45.685	0.087479497

Pasta semimecanizada

SM1 (8)	44.55	44.6	44.575		
SM2 (8)	44.85	45	44.925		
SM3 (8)	45	45.4	45.2	44.9	0.277623542



A3.5

Ciclo de quema para el bizcocho

Rango de temperatura °C		Tiempo (minutos)	Tiempo horas
20	200	150	2,5
200	600	150	2,5
600	600	30	0,5
600	850	150	2,5
850	850	30	0,5
	total	510	8,5

Ciclo de quema para el vidriado

Rango de temperatura °C		Tiempo (minutos)	Tiempo (horas)
20	200	240	4,0
200	600	270	4,5
600	600	60	1,0
600	1000	270	4,5
1000	1000	30	0,5
	total	870	14,5



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A 3.6

METODO HUMEDO-SECO

Este método húmedo seco es aconsejable usar para materiales que se requieren un deslamado previo tales como arcillas o materiales que las contengan.

MATERIALES:

1. Molino de martillos
2. Batería de tamices
3. Tamizador
4. Balanza
5. Estufa
6. Recipiente para secado
7. Pinzas

PROCEDIMIENTO:

1. Tomar 200 g netos de material y colocarlos en el tamiz más fino de la batería de tamices.
2. Lavar suavemente, con las yemas de los dedos, hasta que el agua que sale por la parte inferior del tamiz salga completamente limpia.
3. Pasar el material retenido a un recipiente para secarlo en una hornilla. Agitar con la ayuda de la pinza para evitar que se proyecte, hasta que esté completamente seco. Dejar enfriar.
4. Pesar el material y colocarlo en el tamiz de arriba de la batería de tamices.
5. Colocar la batería de tamices en el tamizador y tamizar de 10 a 15 minutos dependiendo del material.
6. Apagar el vibrador y dejar reposar las muestras 2 minutos, luego sacar y pesar el material retenido en cada malla.
7. Calcular el porcentaje de material retenido en cada una. El material que pasó por el tamiz más fino durante el deslamado se lo reporta como porcentaje de finos.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CALCULOS:

Po = peso inicial de la muestra

Pi (1,2..n) = peso de la muestra en cada uno de los tamices

$$\% \text{ retenido} = (P_i / P_o) \times 100$$

Se reporta la granulometría en función del porcentaje de retenido en cada tamiz de acuerdo al número de malla utilizado.

Arcilla	Morada
Humedad (%)	3,12
Peso Inicial (g)	206,44
Peso seco	200,00
Peso lavado y seco	34,00
% que pasa malla 325	83,065

Morada					
Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	2,28	1,14	1,14	98,80
20	0,85	4,28	2,14	3,28	96,66
40	0,43	4,17	2,09	5,37	94,58
80	0,18	7,16	3,58	8,95	91,00
100	0,15	1,76	0,88	9,83	90,12
200	0,07	8,71	4,36	14,18	85,76
325	0,04	5,39	2,70	16,88	83,07
<325		166,13	83,07	99,94	0,00
Total		199,88	99,94		
Pérdidas		0,12	0,06		



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Arcilla	Cera
Humedad (%)	7,81
Peso Inicial (g)	216,94
Peso neto	200
Peso lavado y seco	10,72
% que pasa malla 325	94,67

Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	0,69	0,35	0,35	99,65
20	0,85	1,11	0,56	0,90	99,10
40	0,43	1,55	0,78	1,68	98,32
80	0,18	1,78	0,89	2,57	97,43
100	0,15	0,39	0,20	2,76	97,24
200	0,07	2,63	1,32	4,08	95,92
325	0,0445	2,51	1,26	5,33	94,67
<325		189,33	94,67	100,00	0,00
Total		199,99	99,995		
Pérdidas		0,01	0,005		

Arcilla	AR. Buenos Aires
Humedad (%)	7,16
Peso Inicial (g)	215,42
Peso neto	200
Peso lavado y seco	26,23
% que pasa malla 325	86,94



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	2,55	1,28	1,28	98,72
20	0,85	3,21	1,61	2,88	97,12
40	0,43	3,12	1,56	4,44	95,56
80	0,18	5,12	2,56	7,00	93,00
100	0,15	1,38	0,69	7,69	92,31
200	0,07	6,16	3,08	10,77	89,23
325	0,0445	4,57	2,29	13,06	86,94
<325		173,88	86,94	100,00	0
Total		200,0	100,00		
Pérdidas		0,0	0,00		

Arcilla	Roja de cumbe
Humedad (%)	3,79
Peso Inicial (g)	207,88
Peso neto	200
Peso lavado y seco	74,76
% que pasa malla 325	62,74



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	4,82	2,41	2,41	96,83
20	0,85	8,13	4,07	6,48	92,76
40	0,43	8,76	4,38	10,86	88,38
80	0,18	17,70	8,85	19,71	79,53
100	0,15	4,79	2,40	22,10	77,14
200	0,07	19,88	9,94	32,04	67,20
325	0,0445	8,92	4,46	36,50	62,74
<325		125,47	62,74	99,24	0,00
Total		198,5	99,24		
Pérdidas		1,53	0,765		

Arcilla	roja de buenos aires
Humedad (%)	9,61
Peso Inicial (g)	221,26
Peso neto	200
Peso lavado y seco	31,53
% que pasa malla 325	84,38



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	1,30	0,65	0,65	99,35
20	0,85	3,01	1,51	2,16	97,85
40	0,43	3,40	1,70	3,86	96,15
80	0,18	7,60	3,80	7,66	92,35
100	0,15	1,83	0,92	8,57	91,43
200	0,07	8,42	4,21	12,78	87,22
325	0,0445	5,69	2,85	15,63	84,38
<325		168,75	84,38	100,00	0,00
Total		200,00	100,00		
Pérdidas		0,00	0		

Arcilla	Ar. San Miguel
Humedad (%)	6,08
Peso Inicial (g)	212,95
Peso neto	200
Peso lavado y seco	63,1
% que pasa malla 325	68,655



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Malla	Abertura mm	Peso (g)	% Retenido	% Acumulado	%Pasa
8	2,36	7,79	3,90	3,90	96,09
20	0,85	9,15	4,58	8,47	91,52
40	0,43	9,16	4,58	13,05	86,94
80	0,18	13,67	6,84	19,89	80,10
100	0,15	2,66	1,33	21,22	78,77
200	0,07	12,15	6,08	27,29	72,70
325	0,04	8,08	4,04	31,33	68,66
<325		137,31	68,66	99,99	0,00
Total		200,0	100,0		
Pérdidas		0,0	0,0		



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A3.7

Análisis químico arcillas.

 <p>CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA</p>	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-0409-410- 411-412-413-414 Hoja 1 de 1
--	------------------------------	--

CLIENTE: Nataly Álvarez

MUESTRAS: 6 MUESTRAS

FECHA: 2014-11-17

ANÁLISIS QUÍMICO

%OXIDO	Roja de Buenos Aires	Roja de Cumbe	Arenosa de Buenos Aires	Arenosa de San Miguel	Arcilla Morada	Arcilla Cera
SiO ₂	62,23	66,83	64,76	68,89	59,70	56,19
Al ₂ O ₃	20,11	17,63	17,09	16,47	24,52	24,49
Fe ₂ O ₃	7,09	6,00	5,82	5,04	7,06	4,98
CaO	0,19	0,19	0,18	0,51	0,01	0,28
MgO	0,31	0,64	0,62	0,41	0,28	0,41
Na ₂ O	0,13	0,21	0,09	0,26	0,23	0,11
K ₂ O	0,28	0,35	0,13	0,20	0,33	0,08
P. Fuego	9,48	7,63	11,32	8,22	7,37	13,45

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica.
- El CESEMIN no realiza el muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el Cliente. Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, fueron proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.


Responsable análisis


Director

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín - Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A3.8

Análisis químico de los vidros.

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-542-543- 544-545-546-547- 548 Hoja 1 de 1
---	------------------------------	---

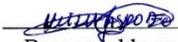
CLIENTE: Proyecto Tejas-Fac. Química
MUESTRAS: 7 MUESTRAS
FECHA: 2015-01-30

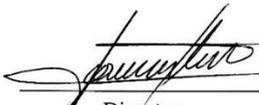
ANÁLISIS QUÍMICO

%OXIDO	A2-CT 8220	A3-CT 8300	A5-CT 8200	EFA-80	AT01	AR01	AR02
SiO ₂	58,62	58,59	59,53	25,27	47,41	7,10	18,72
Al ₂ O ₃	4,46	5,51	3,10	6,54	7,99	2,35	2,55
Fe ₂ O ₃	0,40	0,27	0,16	0,26	4,57	0,13	0,32
CaO	11,68	14,91	6,25	9,04	6,22	0,25	0,24
MgO	0,54	1,64	1,15	0,61	1,23	0,03	0,05
Na ₂ O	4,86	3,68	5,89	3,21	4,11	0,00	0,00
K ₂ O	0,77	0,39	0,46	0,10	0,12	0,00	0,01
PbO	N.C.	N.C.	N.C.	20,04	0,07	65,27	62,91
P. Fuego	0,35	0,35	0,28	5,74	2,60	17,12	8,27

OBSERVACIONES:

- Método: Fusión con Hidróxidos.
Extracción Ácida
Espectroscopía de Absorción Atómica.
- Límite de Cuantificación del Óxido de Plomo de acuerdo al método:
0,027%
- El CESEMIN no realiza el muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el Cliente. Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, fueron proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.


Responsable análisis


Director

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador

http://realquimica.edu.ec/cesemin/



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A3.9

Resistencia a la flexión de tejas.



Fundada en 1857
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERAMICAS	
INEN 988	

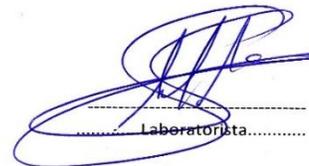
DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Semimecanizadas Sin Vidriar							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO	(a)	(b)	Espesor (c)	L. APOYOS	C. ROTURA
		g	cm	cm	mm	cm	Kgf
RF1	15/12/2014	970,38	31,6	17,7	8,52	30	38,75
RF2	15/12/2014	928,99	31,4	17,15	8,5	30	42,83
RF3	15/12/2014	894,01	31,3	17,1	8,5	30	42,83
RF4	15/12/2014	928,470	31,5	17,2	8,2	30	14,28
RF5	15/12/2014	919,610	31,5	17,2	8,2	30	5,10
RB1	15/12/2014	869,360	31,2	17	8	30	38,75
RB2	15/12/2014	888,630	31,2	17	8,3	30	42,83
RB3	15/12/2014	905,130	31,2	16,8	8,5	30	67,30
RB4	15/12/2014	904,190	31,1	17,1	8,7	30	53,02
RB5	15/12/2014	867,190	30,8	17,5	8,3	30	62,20
T1R	12/01/2015	872,550	30,2	16,7	8,7	28,5	33,65
T2R	12/01/2015	885,390	30,5	16,9	8,6	28,5	47,93
T3R	12/01/2015	867,260	30,6	16,7	8,6	28,5	62,20
T4R	12/01/2015	860,630	30,5	17,1	9,1	28,5	38,75
T5R	12/01/2015	873,200	30,5	16,9	8,8	28,5	33,65

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería



Laboratorio de Suelos

Ing. Gerardo Arbito
Jefe del Laboratorio de Geotécnica y Estructuras



..... Laboratorista.....



UNIVERSIDAD DE CUENCA



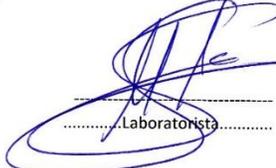
Fundada en 1867
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO:	Sustitución del óxido de plomo en el vidriado de tejas
UBICACIÓN:	Sectores de Racar y San Sebastián
SOLICITADO POR:	Sr. William Lema, Srta. Marcela Chacho, Srta. Nataly Álvarez
DESCRIPCIÓN TEJAS:	Tejas curvas
FECHA:	23/04/2015
FLEXIÓN DE TEJAS CERÁMICAS	
INEN 988	

DATOS DEL ENSAYO							
Tejas Semimecanizadas Vidriadas							
Nomenclatura	Fecha de Rotura	PESO	(a)	(b)	Espesor (c)	L. APOYOS	C. ROTURA
		g	cm	cm	mm	cm	Kgf
RF6	15/12/2014	954,06	31,6	17,2	8,57	30	47,93
RF7	16/12/2014	928,56	31,55	17,2	8,08	30	38,75
RF8	17/12/2014	925,97	31,4	17,6	8	30	58,12
RF9	18/12/2014	895,300	31,3	17	8,05	30	53,02
RF10	19/12/2014	929,010	31,3	17,25	8,35	30	38,75
RB6	20/12/2014	924,240	31,2	17,1	8,5	30	53,02
RB7	21/12/2014	929,920	31,6	17,5	8,4	30	42,83
RB8	22/12/2014	882,730	31,2	17,1	8,5	30	62,20
RB9	23/12/2014	894,200	31,3	17,3	8,4	30	28,55
RB10	12/01/2015	899,500	31	17,1	8,6	30	42,83
T1	12/01/2015	858,520	30	17,1	8,6	28,5	58,12
T2	12/01/2015	865,040	30,2	16,7	8,44	28,5	53,02
T3	12/01/2015	886,660	30	17	9	28,5	28,55
T4	12/01/2015	871,940	30	17	8,75	28,5	42,83
T5	12/01/2015	869,050	29	16,9	8,7	28,5	81,58


 Ing. Gerardo Arbito
 Jefe del Laboratorio de Geotécnica y Estructuras


Laborantista.....



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A3.10

Análisis racional mineralógico			
Roja de cumbe			
<i>feldespatos</i>	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	2,07	3,85
	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1,78	
<i>Arcilla</i>	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	42,80	42,80
<i>sílice</i>	SiO_2	44,34	44,34
<i>Impurezas</i>	Fe_2O_3	6,00	6,83
	CaO	0,19	
	MgO	0,64	
<i>total</i>			97,82

Análisis racional mineralógico			
Arenosa de buenos aires			
<i>feldespatos</i>	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0,77	1,53
	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0,76	
<i>Arcilla</i>	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	42,54	42,54
<i>sílice</i>	SiO_2	43,94	43,94
<i>Impurezas</i>	Fe_2O_3	5,82	6,62
	CaO	0,18	
	MgO	0,62	
<i>total</i>			94,63



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Análisis racional mineralógico			
Cera			
<i>feldespatos</i>	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0,47	1,40
	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	0,93	
<i>Arcilla</i>	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	61,33	61,33
<i>sílice</i>	SiO_2	26,70	26,70
<i>Impurezas</i>	Fe_2O_3	4,98	5,67
	CaO	0,28	
	MgO	0,41	
total			95,10

Análisis racional mineralógico			
Morada			
<i>feldespatos</i>	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1,95	3,90
	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	1,95	
<i>Arcilla</i>	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	60,22	60,22
<i>sílice</i>	SiO_2	29,07	29,07
<i>Impurezas</i>	Fe_2O_3	7,06	7,35
	CaO	0,01	
	MgO	0,28	
total			100,53



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Análisis racional mineralógico			
Arenosa de san miguel			
feldespatos	K ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	1,18	3,38
	Na ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	2,20	
Arcilla	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O	40,07	40,07
Sílice	SiO ₂	47,96	47,96
Impurezas	Fe ₂ O ₃	5,04	5,96
	CaO	0,51	
	MgO	0,41	
Total			97,37

Análisis racional mineralógico			
Roja de buenos aires			
feldespatos	K ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	1,65	2,75
	Na ₂ O.Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	1,10	
Arcilla	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .2H ₂ O	49,61	49,61
sílice	SiO ₂	37,31	37,31
Impurezas	Fe ₂ O ₃	7,09	7,59
	CaO	0,19	
	MgO	0,31	
total			97,26



ANEXOS CAPÍTULO 4

A4.1

Restricciones	inferior	superior
Cera (x1)	0,1	0,35
Roja de Cumbe (x2)	0,05	0,4
Arenosa de Buenos Aires (x3)	0,1	0,5
Morada (x4)	0,1	0,6

Todas las posibles combinaciones

Nro	x1	x2	x3	x4
1	0,1	0,05	0,1	0
2	0,1	0,05	0,5	0
3	0,1	0,4	0,1	0
4	0,1	0,4	0,5	0
5	0,35	0,05	0,5	0
6	0,35	0,05	0,1	0
7	0,35	0,4	0,5	0
8	0,35	0,4	0,1	0
9	0,1	0	0,1	0,1
10	0,1	0	0,1	0,6
11	0,1	0	0,5	0,1
12	0,1	0	0,5	0,6
13	0,35	0	0,1	0,1
14	0,35	0	0,1	0,6
15	0,35	0	0,5	0,1
16	0,35	0	0,5	0,6



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nro	x1	x2	x3	x4
17	0,1	0,05	0	0,1
18	0,1	0,05	0	0,6
19	0,1	0,4	0	0,1
20	0,1	0,4	0	0,6
21	0,35	0,05	0	0,1
22	0,35	0,05	0	0,6
23	0,35	0,4	0	0,1
24	0,35	0,4	0	0,6
25	0	0,05	0,1	0,1
26	0	0,05	0,1	0,6
27	0	0,05	0,5	0,1
28	0	0,05	0,5	0,6
29	0	0,4	0,1	0,1
30	0	0,4	0,1	0,6
31	0	0,4	0,5	0,1
32	0	0,4	0,5	0,6

Suma

Nro	x1	x2	x3	x4	suma
1	0,1	0,05	0,1	0,75	1
2	0,1	0,05	0,5	0,35	1
3	0,1	0,4	0,1	0,4	1
4	0,1	0,4	0,5	0	1
5	0,35	0,05	0,5	0,1	1
6	0,35	0,05	0,1	0,5	1
7	0,35	0,4	0,5	-0,25	1
8	0,35	0,4	0,1	0,15	1
9	0,1	0,7	0,1	0,1	1
10	0,1	0,2	0,1	0,6	1
11	0,1	0,3	0,5	0,1	1
12	0,1	-0,2	0,5	0,6	1
13	0,35	0,45	0,1	0,1	1
14	0,35	-0,05	0,1	0,6	1
15	0,35	0,05	0,5	0,1	1
16	0,35	-0,45	0,5	0,6	1



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nro	x1	x2	x3	x4	
17	0,1	0,05	0,75	0,1	1
18	0,1	0,05	0,25	0,6	1
19	0,1	0,4	0,4	0,1	1
20	0,1	0,4	-0,1	0,6	1
21	0,35	0,05	0,5	0,1	1
22	0,35	0,05	0	0,6	1
23	0,35	0,4	0,15	0,1	1
24	0,35	0,4	-0,35	0,6	1
25	0,75	0,05	0,1	0,1	1
26	0,25	0,05	0,1	0,6	1
27	0,35	0,05	0,5	0,1	1
28	-0,15	0,05	0,5	0,6	1
29	0,4	0,4	0,1	0,1	1
30	-0,1	0,4	0,1	0,6	1
31	0	0,4	0,5	0,1	1
32	-0,5	0,4	0,5	0,6	1

Descartar los que no cumplan con las restricciones.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Nro	x1	x2	x3	x4	suma
1	0,1	0,05	0,1	0,75	1
2	0,1	0,05	0,5	0,35	1
3	0,1	0,4	0,1	0,4	1
4	0,1	0,4	0,5	0	1
5	0,35	0,05	0,5	0,1	1
6	0,35	0,05	0,1	0,5	1
8	0,35	0,4	0,1	0,15	1
9	0,1	0,7	0,1	0,1	1
10	0,1	0,2	0,1	0,6	1
11	0,1	0,3	0,5	0,1	1
13	0,35	0,45	0,1	0,1	1
15	0,35	0,05	0,5	0,1	1
17	0,1	0,05	0,75	0,1	1
18	0,1	0,05	0,25	0,6	1
19	0,1	0,4	0,4	0,1	1
21	0,35	0,05	0,5	0,1	1
23	0,35	0,4	0,15	0,1	1
25	0,75	0,05	0,1	0,1	1
26	0,25	0,05	0,1	0,6	1
27	0,35	0,05	0,5	0,1	1
29	0,4	0,4	0,1	0,1	1
31	0	0,4	0,5	0,1	1



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla final experimentos.

Nro	Nro Experiments	x1	x2	x3	x4	total
1	2	0,10	0,05	0,50	0,35	1
2	3	0,10	0,40	0,10	0,40	1
3	5	0,35	0,05	0,50	0,10	1
4	6	0,35	0,05	0,10	0,50	1
5	8	0,35	0,40	0,10	0,15	1
6	10	0,10	0,20	0,10	0,60	1
7	11	0,10	0,30	0,50	0,10	1
8	18	0,10	0,05	0,25	0,60	1
9	19	0,10	0,40	0,40	0,10	1
10	23	0,35	0,40	0,15	0,10	1
11	26	0,25	0,05	0,10	0,60	1
12	centroide	0,20	0,21	0,25	0,33	1



A4.2

Matriz para la Contracción al secado

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	y
x1	1,72	0,57	0,62	0,79	0,15	0,16	0,19	0,11	0,12	0,14	36,41
x2	0,57	1,89	0,66	0,69	0,18	0,11	0,12	0,20	0,19	0,13	27,79
x3	0,62	0,66	2,17	0,85	0,11	0,21	0,14	0,22	0,13	0,25	35,91
x4	0,79	0,69	0,85	2,84	0,12	0,14	0,33	0,13	0,25	0,32	36,67
x1x2	0,15	0,18	0,11	0,12	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	4,53
x1x3	0,16	0,11	0,21	0,14	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	5,00
x1x4	0,19	0,12	0,14	0,33	0,03	0,03	0,08	0,02	0,04	0,05	6,16
x2x3	0,11	0,20	0,22	0,13	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	5,05
x2x4	0,12	0,19	0,13	0,25	0,03	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	5,08
x3x4	0,14	0,13	0,25	0,32	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,08	6,46

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
x1	1,00	0,00	0,00	0,00	-1,67	-1,61	-1,51	0,21	0,20	0,22
x2	0,00	0,99	0,00	0,00	-1,82	0,15	0,14	-1,56	-1,50	0,13
x3	0,00	0,00	0,99	0,01	0,50	-2,18	0,40	-1,88	0,29	-1,74
x4	0,00	0,00	0,01	0,95	0,62	0,59	-2,42	0,30	-1,90	-1,93
x1x2	-1,67	-1,82	0,50	0,62	52,42	-11,40	-6,73	-11,38	-15,20	9,53
x1x3	-1,61	0,15	-2,18	0,59	-11,40	51,72	-6,68	-7,27	8,44	-11,39
x1x4	-1,51	0,14	0,40	-2,42	-6,73	-6,68	37,79	7,12	-4,91	-8,59
x2x3	0,21	-1,56	-1,88	0,30	-11,38	-7,27	7,12	39,85	-7,80	-4,47
x2x4	0,20	-1,50	0,29	-1,90	-15,20	8,44	-4,91	-7,80	46,17	-6,78
x3x4	0,22	0,13	-1,74	-1,93	9,53	-11,39	-8,59	-4,47	-6,78	37,86



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coeficientes.

B1	14,880
B2	6,323
B3	10,172
B4	5,345
B12	-4,975
B13	-12,404
B14	-1,194
B23	-3,178
B24	0,785
B34	-0,983

Matriz para la Contracción a la primera quema 850°C

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	y
x1	1,65	0,51	0,56	0,73	0,14	0,14	0,18	0,10	0,11	0,13	3,07
x2	0,51	1,83	0,60	0,63	0,17	0,10	0,11	0,18	0,17	0,11	-0,45
x3	0,56	0,60	2,11	0,79	0,10	0,19	0,13	0,20	0,11	0,24	0,69
x4	0,73	0,63	0,79	2,78	0,11	0,13	0,32	0,11	0,23	0,31	-0,39
x1x2	0,14	0,17	0,10	0,11	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
x1x3	0,14	0,10	0,19	0,13	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,09
x1x4	0,18	0,11	0,13	0,32	0,02	0,03	0,07	0,02	0,03	0,05	0,00
x2x3	0,10	0,18	0,20	0,11	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,00
x2x4	0,11	0,17	0,11	0,23	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	-0,08
x3x4	0,13	0,11	0,24	0,31	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,08	-0,02

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
x1	1,00	0,00	0,00	0,00	-1,68	-1,62	-1,51	0,21	0,19	0,21
x2	0,00	1,00	0,00	0,00	-1,83	0,13	0,13	-1,57	-1,52	0,13
x3	0,00	0,00	0,99	0,01	0,48	-2,21	0,38	-1,89	0,27	-1,75
x4	0,00	0,00	0,01	0,95	0,59	0,55	-2,44	0,29	-1,94	-1,94
x1x2	-1,68	-1,83	0,48	0,59	52,68	-11,02	-6,58	-11,23	-14,92	9,62
x1x3	-1,62	0,13	-2,21	0,55	-11,02	52,28	-6,46	-7,05	8,85	-11,25
x1x4	-1,51	0,13	0,38	-2,44	-6,58	-6,46	37,87	7,20	-4,75	-8,54
x2x3	0,21	-1,57	-1,89	0,29	-11,23	-7,05	7,20	39,93	-7,64	-4,42
x2x4	0,19	-1,52	0,27	-1,94	-14,92	8,85	-4,75	-7,64	46,47	-6,68
x3x4	0,21	0,13	-1,75	-1,94	9,62	-11,25	-8,54	-4,42	-6,68	37,90



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coeficientes.

B1	2,876
B2	-0,355
B3	0,514
B4	-0,111
B12	-3,469
B13	-2,674
B14	-3,610
B23	-0,301
B24	-0,547
B34	-1,103

Matriz para la Contracción a la segunda quema 1000°C

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	y
x1	1,65	0,51	0,56	0,73	0,14	0,14	0,18	0,10	0,11	0,13	4,73
x2	0,51	1,83	0,60	0,63	0,17	0,10	0,11	0,18	0,17	0,11	3,93
x3	0,56	0,60	2,11	0,79	0,10	0,19	0,13	0,20	0,11	0,24	4,39
x4	0,73	0,63	0,79	2,78	0,11	0,13	0,32	0,11	0,23	0,31	5,45
x1x2	0,14	0,17	0,10	0,11	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,63
x1x3	0,14	0,10	0,19	0,13	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,74
x1x4	0,18	0,11	0,13	0,32	0,02	0,03	0,07	0,02	0,03	0,05	0,92
x2x3	0,10	0,18	0,20	0,11	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,69
x2x4	0,11	0,17	0,11	0,23	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	0,74
x3x4	0,13	0,11	0,24	0,31	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,08	0,92

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
x1	1,00	0,00	0,00	0,00	-1,68	-1,62	-1,51	0,21	0,19	0,21
x2	0,00	1,00	0,00	0,00	-1,83	0,13	0,13	-1,57	-1,52	0,13
x3	0,00	0,00	0,99	0,01	0,48	-2,21	0,38	-1,89	0,27	-1,75
x4	0,00	0,00	0,01	0,95	0,59	0,55	-2,44	0,29	-1,94	-1,94
x1x2	-1,68	-1,83	0,48	0,59	52,68	-11,02	-6,58	-11,23	-14,92	9,62
x1x3	-1,62	0,13	-2,21	0,55	-11,02	52,28	-6,46	-7,05	8,85	-11,25
x1x4	-1,51	0,13	0,38	-2,44	-6,58	-6,46	37,87	7,20	-4,75	-8,54
x2x3	0,21	-1,57	-1,89	0,29	-11,23	-7,05	7,20	39,93	-7,64	-4,42
x2x4	0,19	-1,52	0,27	-1,94	-14,92	8,85	-4,75	-7,64	46,47	-6,68
x3x4	0,21	0,13	-1,75	-1,94	9,62	-11,25	-8,54	-4,42	-6,68	37,90



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coeficientes.

B1	1,553
B2	0,902
B3	0,705
B4	0,765
B12	-0,436
B13	3,127
B14	1,296
B23	0,073
B24	1,078
B34	0,147

Matriz para la Contracción total

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	y
x1	1,65	0,51	0,56	0,73	0,14	0,14	0,18	0,10	0,11	0,13	42,19
x2	0,51	1,83	0,60	0,63	0,17	0,10	0,11	0,18	0,17	0,11	29,25
x3	0,56	0,60	2,11	0,79	0,10	0,19	0,13	0,20	0,11	0,24	38,97
x4	0,73	0,63	0,79	2,78	0,11	0,13	0,32	0,11	0,23	0,31	39,72
x1x2	0,14	0,17	0,10	0,11	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	4,68
x1x3	0,14	0,10	0,19	0,13	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	5,32
x1x4	0,18	0,11	0,13	0,32	0,02	0,03	0,07	0,02	0,03	0,05	6,58
x2x3	0,10	0,18	0,20	0,11	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	5,23
x2x4	0,11	0,17	0,11	0,23	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	5,24
x3x4	0,13	0,11	0,24	0,31	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,08	6,85

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
x1	1,00	0,00	0,00	0,00	-1,68	-1,62	-1,51	0,21	0,19	0,21
x2	0,00	1,00	0,00	0,00	-1,83	0,13	0,13	-1,57	-1,52	0,13
x3	0,00	0,00	0,99	0,01	0,48	-2,21	0,38	-1,89	0,27	-1,75
x4	0,00	0,00	0,01	0,95	0,59	0,55	-2,44	0,29	-1,94	-1,94
x1x2	-1,68	-1,83	0,48	0,59	52,68	-11,02	-6,58	-11,23	-14,92	9,62
x1x3	-1,62	0,13	-2,21	0,55	-11,02	52,28	-6,46	-7,05	8,85	-11,25
x1x4	-1,51	0,13	0,38	-2,44	-6,58	-6,46	37,87	7,20	-4,75	-8,54
x2x3	0,21	-1,57	-1,89	0,29	-11,23	-7,05	7,20	39,93	-7,64	-4,42
x2x4	0,19	-1,52	0,27	-1,94	-14,92	8,85	-4,75	-7,64	46,47	-6,68
x3x4	0,21	0,13	-1,75	-1,94	9,62	-11,25	-8,54	-4,42	-6,68	37,90



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coefficientes.

B1	19,312
B2	6,878
B3	11,403
B4	6,025
B12	-9,023
B13	-12,162
B14	-3,617
B23	-3,487
B24	1,137
B34	-2,014

Matriz para % de absorción de agua

	x1	x2	x3	x4	y
x1	0,71683884	0,57369835	0,62206612	0,79194215	42,8149514
x2	0,57369835	0,8906405	0,65938017	0,68991736	48,0181769
x3	0,62206612	0,65938017	1,17229339	0,85080579	57,2305115
x4	0,79194215	0,68991736	0,85080579	1,84460744	67,1859732

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4
x1	4,24006275	1,44882288	0,76234125	0,92687039
x2	1,44882288	2,56394356	0,64456782	0,03964162
x3	0,76234125	0,64456782	1,81526218	0,26889562
x4	0,92687039	0,03964162	0,26889562	1,07890442

Coefficientes.

B1	6,066
B2	21,532
B3	22,232
B4	15,511



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Matriz para la carga a la rotura

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	y
x1	1,65	0,51	0,56	0,73	0,14	0,14	0,18	0,10	0,11	0,13	75,20
x2	0,51	1,83	0,60	0,63	0,17	0,10	0,11	0,18	0,17	0,11	70,53
x3	0,56	0,60	2,11	0,79	0,10	0,19	0,13	0,20	0,11	0,24	81,54
x4	0,73	0,63	0,79	2,78	0,11	0,13	0,32	0,11	0,23	0,31	115,63
x1x2	0,14	0,17	0,10	0,11	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	12,82
x1x3	0,14	0,10	0,19	0,13	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	14,80
x1x4	0,18	0,11	0,13	0,32	0,02	0,03	0,07	0,02	0,03	0,05	20,09
x2x3	0,10	0,18	0,20	0,11	0,03	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	13,98
x2x4	0,11	0,17	0,11	0,23	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03	15,10
x3x4	0,13	0,11	0,24	0,31	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,08	20,28

Matriz inversa

	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
x1	1,00	0,00	0,00	0,00	-1,68	-1,62	-1,51	0,21	0,19	0,21
x2	0,00	1,00	0,00	0,00	-1,83	0,13	0,13	-1,57	-1,52	0,13
x3	0,00	0,00	0,99	0,01	0,48	-2,21	0,38	-1,89	0,27	-1,75
x4	0,00	0,00	0,01	0,95	0,59	0,55	-2,44	0,29	-1,94	-1,94
x1x2	-1,68	-1,83	0,48	0,59	52,68	-11,02	-6,58	-11,23	-14,92	9,62
x1x3	-1,62	0,13	-2,21	0,55	-11,02	52,28	-6,46	-7,05	8,85	-11,25
x1x4	-1,51	0,13	0,38	-2,44	-6,58	-6,46	37,87	7,20	-4,75	-8,54
x2x3	0,21	-1,57	-1,89	0,29	-11,23	-7,05	7,20	39,93	-7,64	-4,42
x2x4	0,19	-1,52	0,27	-1,94	-14,92	8,85	-4,75	-7,64	46,47	-6,68
x3x4	0,21	0,13	-1,75	-1,94	9,62	-11,25	-8,54	-4,42	-6,68	37,90

Coefficientes.

B1	9,501
B2	9,238
B3	4,918
B4	13,277
B12	44,503
B13	80,499
B14	81,038
B23	33,529
B24	9,175
B34	49,620



A4.3

AVA

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0.$$

El análisis de varianza implica una prueba F , mediante una tabla, como la siguiente:

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Regresión	SCR	k	$CMR = \frac{SCR}{k}$	$f = \frac{CMR}{CME}$
Error	SCE	$n - (k + 1)$	$CME = \frac{SCE}{n - (k + 1)}$	
Total	$STCC$	$n - 1$		

Contracción al secado

k	9
n	17
gl	8
SCE	1,567054452
SCR	66,62364702
STC	68,19070147

CME	$\hat{\sigma}^2$ (estimado de la varianza)	0,195881807
coeficiente de determinación múltiple	R^2	0,977019529
	Ra^2	0,829039058
coeficiente de correlación múltiple	R	0,988442982

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
lineal	61,336	3	20,445	91,329	<0,001
cuadrático	5,288	6	0,881	3,937	<0,001
Error	1,567	7	0,224		
Total	68,191	16			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Contracción a la quema de 850°C

k	9
n	16
gl	7
SCE	0,0765
SCR	8,6346
STCC	8,7111

σ^2 (estimado de la varianza)	0,011
R ²	0,991
Ra ²	0,978
R	0,996

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
lineal	7,216	3	2,405	188,641	<0.001
cuadrático	1,419	6	0,236	18,541	0.00215
Error	0,077	6	0,013		
Total	8,711	15			

Contracción a la quema de 1000°C

k	9
n	16
gl	7
SCE	0,0873
SCR	0,9509
STCC	1,0382

σ^2 (estimado de la varianza)	0,012
R ²	0,916
Ra ²	0,790
R	0,957



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
lineal	0,593	3	0,198	13,592	0,00753
cuadrático	0,358	6	0,060	4,100	0,0573
Error	0,087	6	0,015		
Total	1,038	15			

Contracción total

k	9
n	16
gl	7

SCE	0,4536
SCR	134,1436
STCC	134,5973

σ^2 (estimado de la varianza)	0,065
R ²	0,997
Ra ²	0,992
R	0,998

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
lineal	124,584	3	41,528	549,283	<0,001
cuadrático	9,560	6	1,593	21,074	<0,001
Error	0,454	6	0,076		
Total	134,597	15			

Absorción de agua

k	3
n	13
gl	10
SCE	1,85826749
SCR	44,0872056
SCT	45,9454731

σ^2 (estimado de la varianza)	0,18582675
--------------------------------------	------------



UNIVERSIDAD DE CUENCA

R ²	0,95955494
Ra ²	0,94607325
R	0,97956875

AVA		Ho: B1=B2=B3=B4=0		Ha: al menos una de estas cuatro B no es igual 0	
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
Rgresion lineal	44,0872056	3	14,6957352	71,1746922	<0,001
Error	1,85826749	9	0,20647417		
Total	45,9454731	12			

Carga a la rotura

k	9
n	16
gl	7
SCE	122,8959
SCR	956,4964
STCC	1079,3923

$\hat{\sigma}^2$ (estimado de la varianza)	17,557
R ²	0,886
Ra ²	0,715
R	0,941

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f	valor p
lineal	97,461	3	32,487	1,586	>0,1
cuadrático	859,036	6	143,173	6,990	0,024
Error	122,896	6	20,483		
Total	1079,392	15			



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ANEXOS CAPÍTULO 5

A5.1



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Materiales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0626 Hoja 1 de 1
--	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

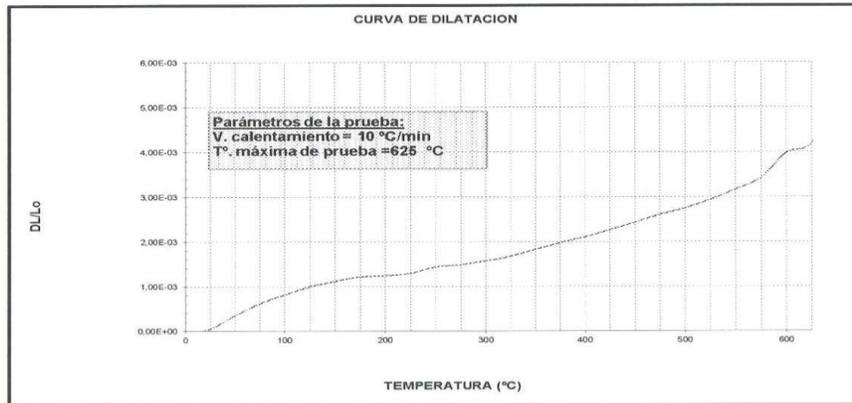
MATERIAL: SMHT

Fecha: 2015-03-10

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	5,508E-06 /°C	0,1680%
20 a 500 °C	5,735E-06 /°C	0,2753%
20 a 600 °C	6,857E-06 /°C	0,3977%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.2

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-673 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 3

FECHA: 2015-04-24

CODIGO CESEMIN: MG0673

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,082E-06 /°C	0,2160%
20 a 500 °C	7,194E-06 /°C	0,3453%
20 a 600 °C	8,340E-06 /°C	0,4837%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-674 Hoja 1 de 1
--	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 4

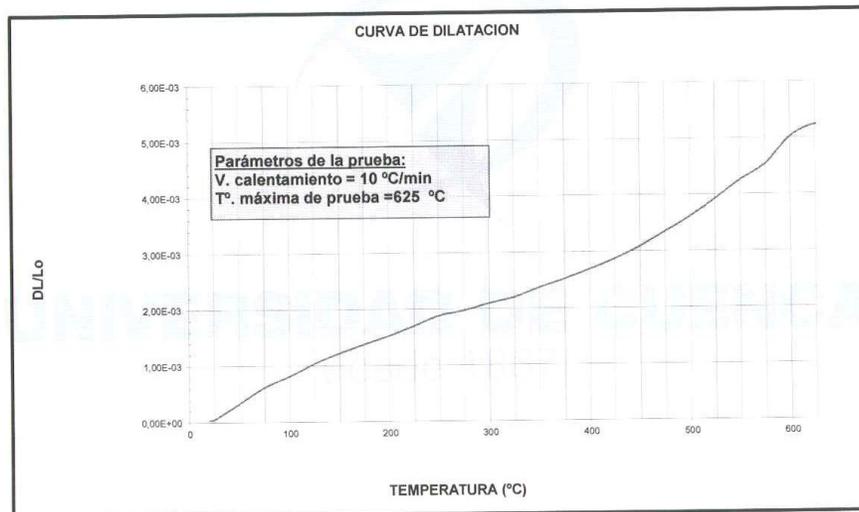
FECHA: 2015-04-27

CODIGO CESEMIN: MG0674

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,213E-06	/°C	0,2200%
20 a 500 °C	7,527E-06	/°C	0,3613%
20 a 600 °C	8,650E-06	/°C	0,5017%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:


RESP. ANÁLISIS


DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos CUENCA	Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-675 Hoja 1 de 1
--	--	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 5

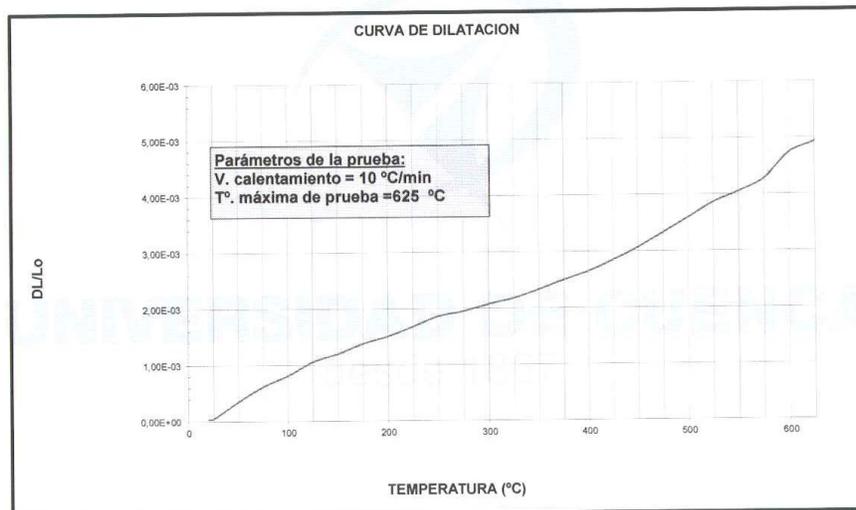
FECHA: 2015-04-27

CODIGO CESEMIN: MG0675

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	7,148E-06	/°C	0,2180%
20 a 500 °C	7,485E-06	/°C	0,3593%
20 a 600 °C	8,167E-06	/°C	0,4737%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos CUENCA	Centro de Minerales Metálicos y UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-676 Hoja 1 de 1
---	--	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 8

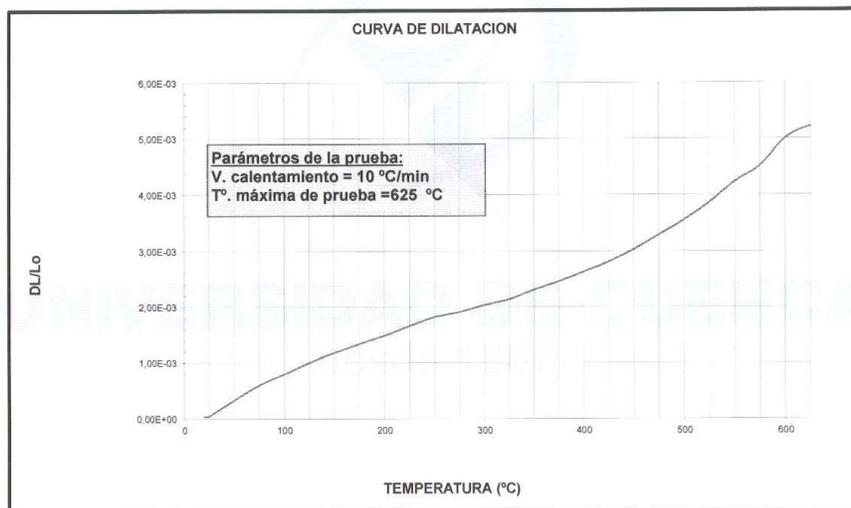
FECHA: 2015-04-27

CODIGO CESEMIN: MG0676

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,016E-06 /°C	0,2140%
20 a 500 °C	7,402E-06 /°C	0,3553%
20 a 600 °C	8,616E-06 /°C	0,4997%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-677 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 11

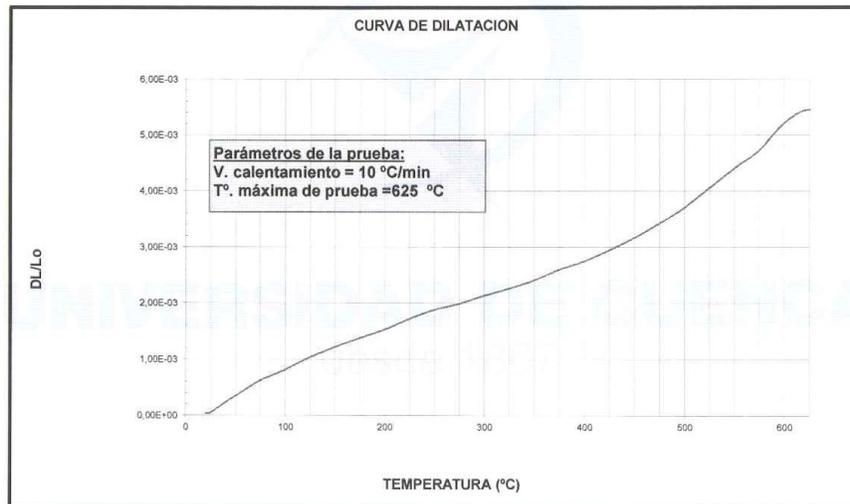
FECHA: 2015-04-28

CODIGO CESEMIN: MG0677

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,410E-06 /°C	0,2260%
20 a 500 °C	7,735E-06 /°C	0,3713%
20 a 600 °C	8,995E-06 /°C	0,5217%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-678 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 3-1000

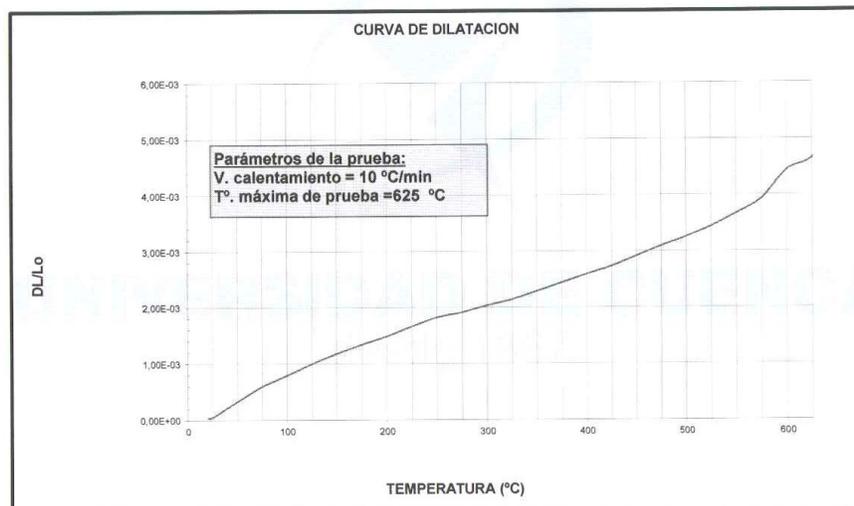
FECHA: 2015-04-29

CODIGO CESEMIN: MG0678

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,016E-06 /°C	0,2140%
20 a 500 °C	6,777E-06 /°C	0,3253%
20 a 600 °C	7,650E-06 /°C	0,4437%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-679 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 4-1000

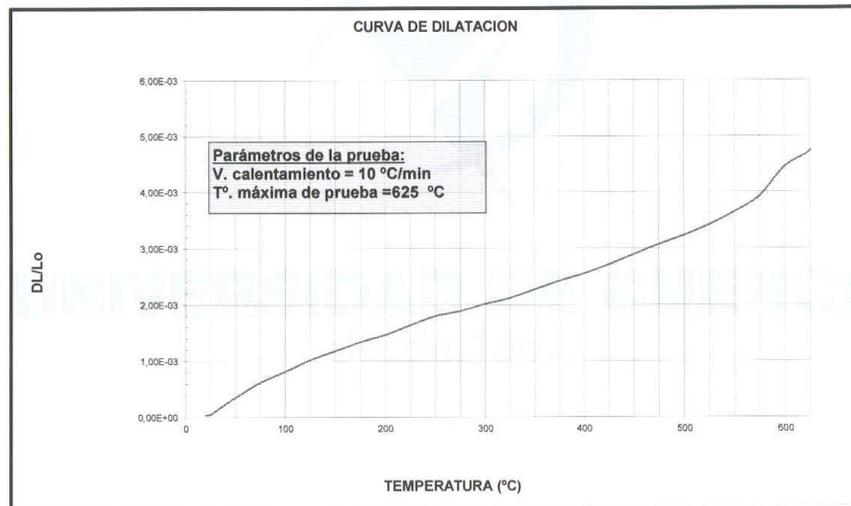
FECHA: 2015-04-29

CODIGO CESEMIN: MG0679

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	6,951E-06	/°C	0,2120%
20 a 500 °C	6,735E-06	/°C	0,3233%
20 a 600 °C	7,684E-06	/°C	0,4457%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-680 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 5-1000

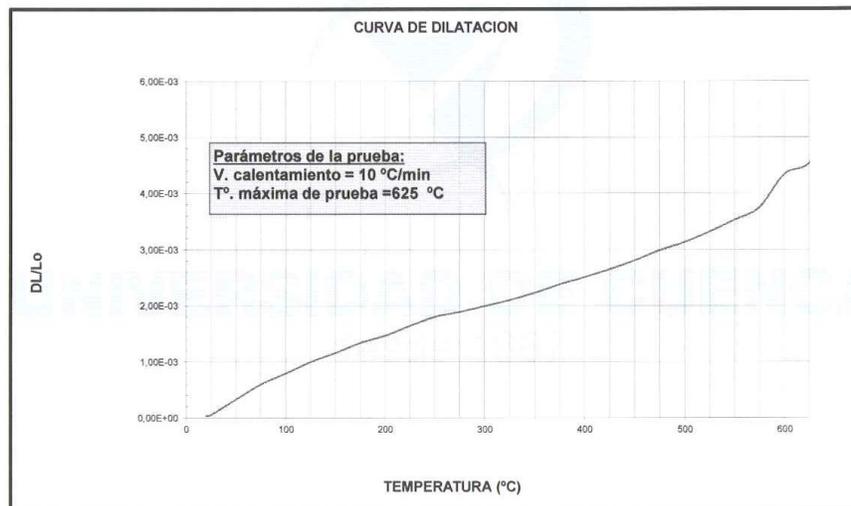
FECHA: 2015-04-29

CODIGO CESEMIN: MG0680

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,885E-06 /°C	0,2100%
20 a 500 °C	6,527E-06 /°C	0,3133%
20 a 600 °C	7,478E-06 /°C	0,4337%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-681 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 8-1000

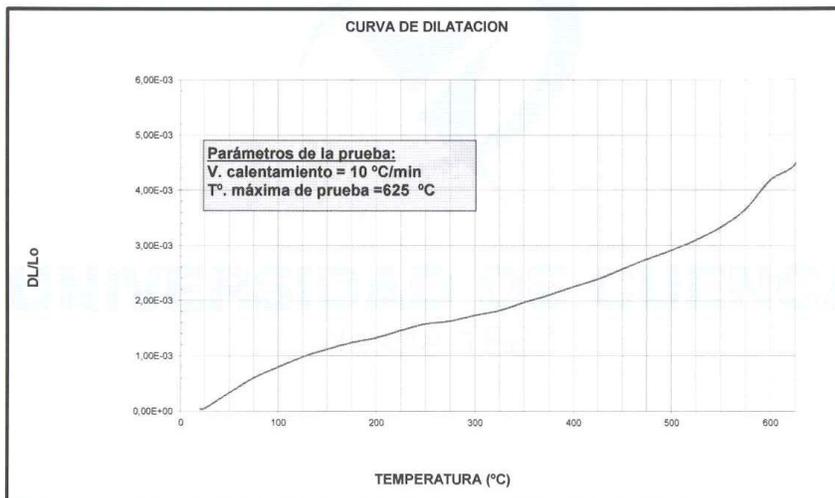
FECHA: 2015-04-29

CODIGO CESEMIN: MG0681

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	5,967E-06	1°C	0,1820%
20 a 500 °C	6,069E-06	1°C	0,2913%
20 a 600 °C	7,202E-06	1°C	0,4177%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-682 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

MATERIAL: E 11-1000

FECHA: 2015-04-30

CODIGO CESEMIN: MG0682

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,885E-06 /°C	0,2100%
20 a 500 °C	6,819E-06 /°C	0,3273%
20 a 600 °C	7,753E-06 /°C	0,4497%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.3

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0628 Hoja 1 de 1
---	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

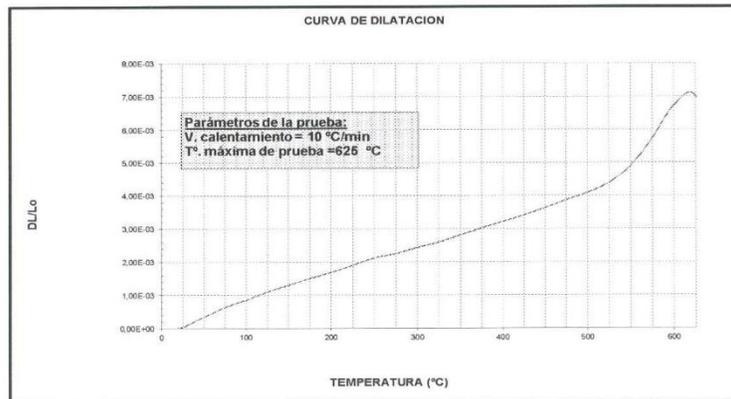
MATERIAL: EFA 80

Fecha: 2015-03-11

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,525E-06 /°C	0,2600%
20 a 500 °C	8,527E-06 /°C	0,4093%
20 a 600 °C	1,162E-05 /°C	0,6737%

METODO: CESEMIN 092.C009



OBSERVACIONES:


 RESP. ANÁLISIS


 DIRECTOR



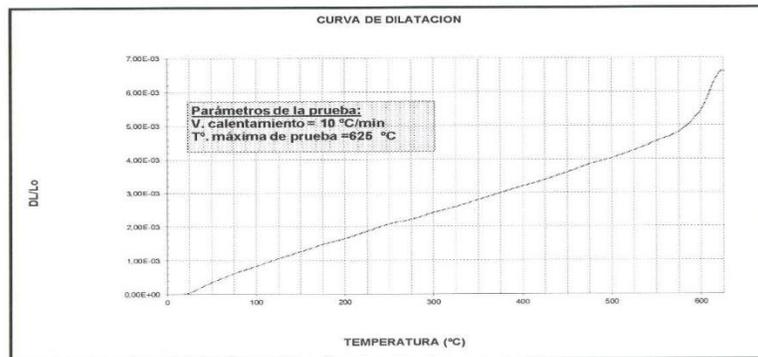
UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMEN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-0627 Hoja 1 de 1
---	--	-------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS
MATERIAL: A5 CHIVIT
Fecha: 2015-03-11
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	8,459E-06 /°C	0,2580%
20 a 500 °C	8,402E-06 /°C	0,4033%
20 a 600 °C	9,374E-06 /°C	0,5437%

METODO: CESEMEN 092:C009



OBSERVACIONES:



 RESP. ANÁLISIS



 DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-631 Hoja 1 de 1
---	--	------------------------

CLIENTE: PROYECTO ALTERNATIVAS PARA LA SUSTITUCIÓN DEL ÓXIDO DE PLOMO EN TEJAS

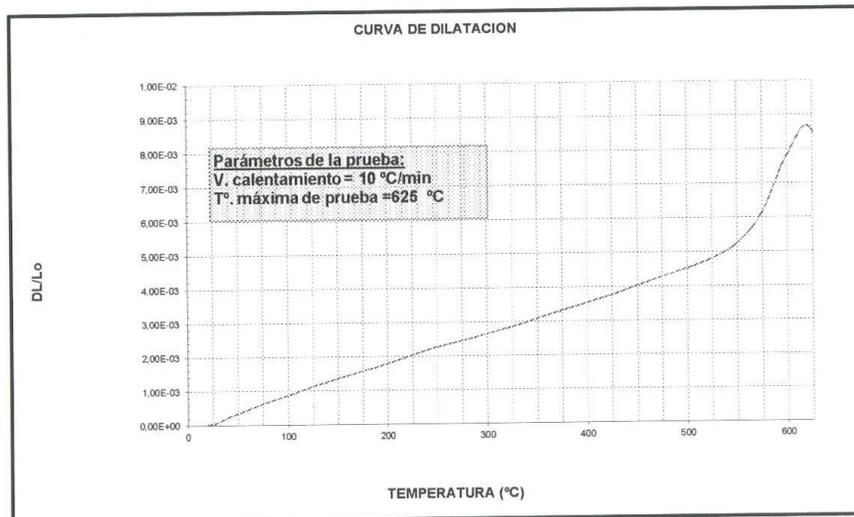
MATERIAL: ACUTEJAS

Fecha: 2015-03-17

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	9,377E-06 /°C	0,2860%
20 a 500 °C	9,444E-06 /°C	0,4533%
20 a 600 °C	1,348E-05 /°C	0,7817%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.4

Ciclo de Bizcocho (modificado)

Rango de temperatura °C		tiempo (minutos)	horas
20	200	150	2,50
200	600	75	1,25
600	600	20	0,33
600	850	75	1,25
850	1000	75	1,25
1000	1000	20	0,33
	total	415	6,92

Ciclo para el vidriado (modificado)

Rango de temperatura °C		tiempo (minutos)	horas
20	200	120	2,00
200	600	135	2,25
600	600	30	0,50
600	900	150	2,50
900	900	20	0,33
	total	455	7,58



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.5

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-824 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: E 3 ++

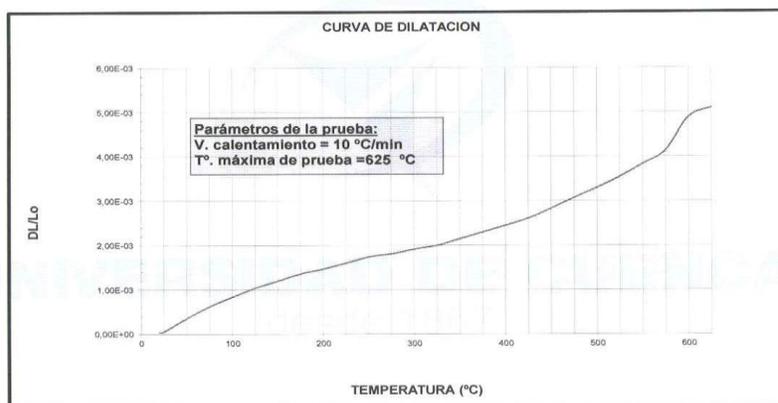
FECHA: 2015-09-03

CODIGO CESEMIN: MG824

TEMPERATURA DE QUE 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	6,557E-06	/°C	0,2000%
20 a 500 °C	6,860E-06	/°C	0,3293%
20 a 600 °C	8,409E-06	/°C	0,4877%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>



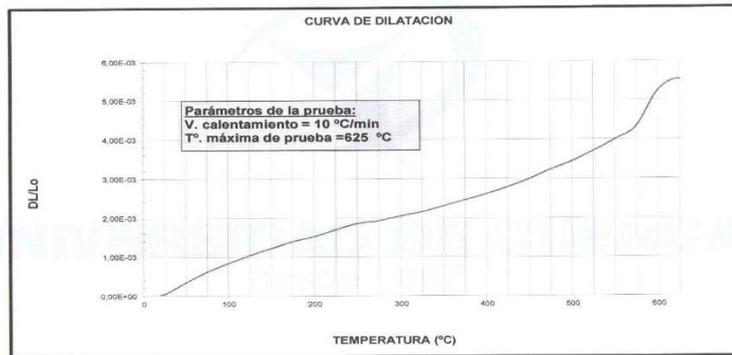
UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-821 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS
MATERIAL: E 3 +++
FECHA: 2015-09-03
CODIGO CESEMIN: MG821
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,082E-06 /°C	0,2160%
20 a 500 °C	7,152E-06 /°C	0,3433%
20 a 600 °C	9,029E-06 /°C	0,5237%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:



RESP. ANÁLISIS



DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC 2303-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín - Telefax: (07) 4089561
 Cuenca - Ecuador

Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin>



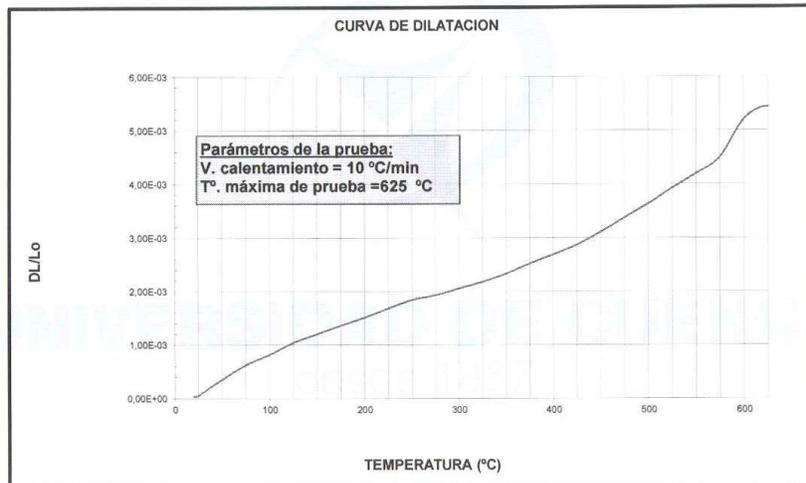
UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-822 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS
MATERIAL: E 6 ++
FECHA: 2015-09-03
CODIGO CESEMIN: MG822
TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,148E-06 /°C	0,2180%
20 a 500 °C	7,569E-06 /°C	0,3633%
20 a 600 °C	8,960E-06 /°C	0,5197%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-823 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

MATERIAL: E 7 ++

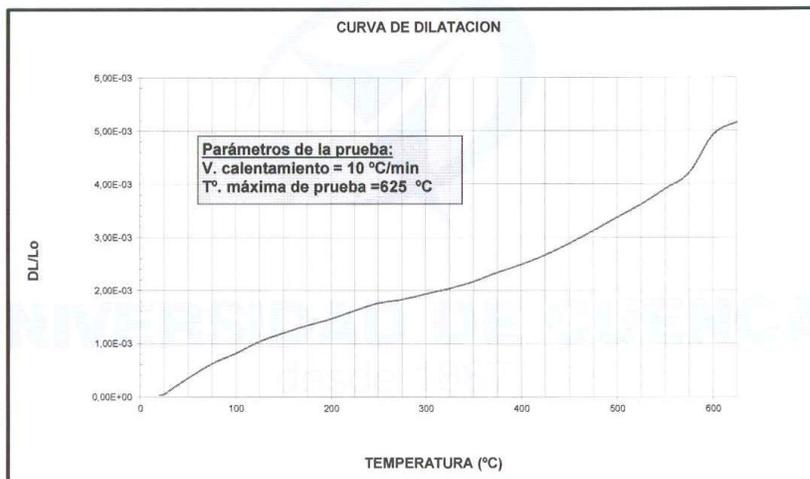
FECHA: 2015-09-03

CODIGO CESEMIN: MG823

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,689E-06 /°C	0,2040%
20 a 500 °C	7,027E-06 /°C	0,3373%
20 a 600 °C	8,478E-06 /°C	0,4917%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-806 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

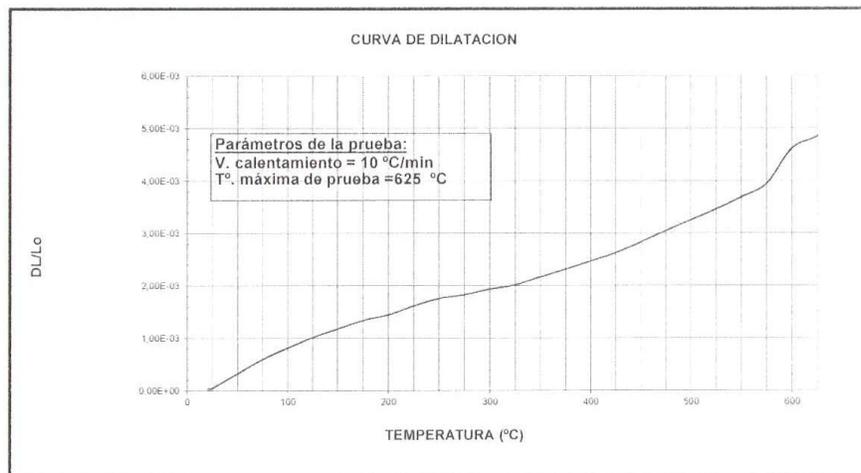
MATERIAL: E3 ++ 900°C

Fecha: 2015-07-28

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,623E-06 /°C	0,2020%
20 a 500 °C	6,777E-06 /°C	0,3253%
20 a 600 °C	7,960E-06 /°C	0,4617%

METODO: CESEMIN 092.C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-807 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

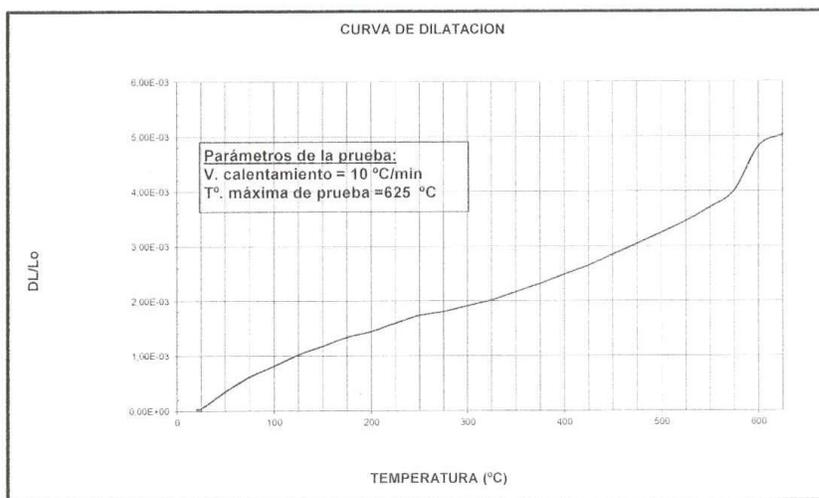
MATERIAL: E3+++ 900°C

Fecha: 2015-07-28

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,623E-06 /°C	0,2020%
20 a 500 °C	6,777E-06 /°C	0,3253%
20 a 600 °C	8,305E-06 /°C	0,4817%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-808 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

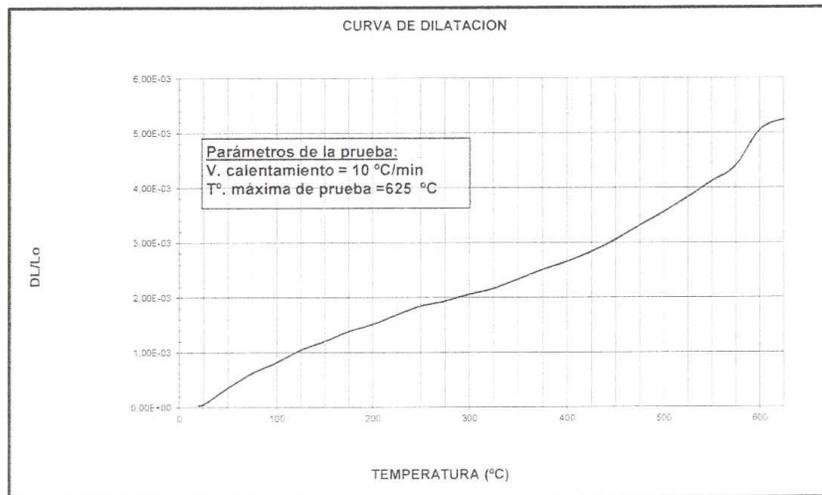
MATERIAL: E6++ 900°C

Fecha: 2015-07-30

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	7,082E-06 /°C	0,2160%
20 a 500 °C	7,402E-06 /°C	0,3553%
20 a 600 °C	8,684E-06 /°C	0,5037%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA	REPORTE DE RESULTADOS DE DILATACION TERMICA	RMG-809 Hoja 1 de 1
---	---	------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS

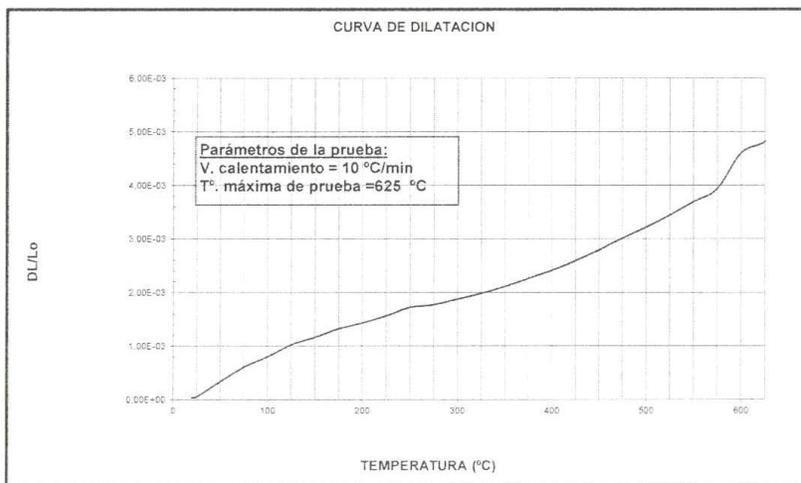
MATERIAL: E7++ 900°C

Fecha: 2015-07-30

TEMPERATURA DE QUEMA: 0 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,492E-06 /°C	0,1980%
20 a 500 °C	6,694E-06 /°C	0,3213%
20 a 600 °C	7,926E-06 /°C	0,4597%

METODO: CESEMIN 092:C009



OBSERVACIONES:

RESP. ANALISIS

DIRECTOR

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el Cliente y son de su entera responsabilidad.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.6

Monitoreos realizados por el proyecto EELA en horno de Don Manuel Riera

tiempo h	hora	M1	M2	M3
0	4:00	25	30	30
1	5:00	100	100	100
2	6:00	175	175	150
3	7:00	220	200	200
3,5	7:30	235	220	245
4	8:00	284	260	300
4,5	8:30	365	320	340
5	9:00	415	400	430
5,5	9:30	490	460	460
6	10:00	570	620	500
6,5	10:30	640	660	545
7	11:00	705	750	590
7,5	11:30	768	780	625
8	12:00	794	810	750
8,5	12:30	816	845	790
9	13:00	855	870	850
9,5	13:30	885	890	890
10	14:00	910	915	900
10,5	14:30	918	905	930
11	15:00	920	935	955
11,5	15:30	956	960	940
12	16:00	990	995	980



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Monitoreos Don Manuel Riera.

Tiempo (horas)	Temperatura °C
0	30
3	150
4	180
5	245
6	297
7	330
8	410
9	445
10	560
11	640
12	700
13	720
14	830
15	900
16	840
17	860
18	820



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tiempo (horas)	Temperatura °C
0	30
3	150
4	180
5	240
6	300
7	394
8	480
9	540
10	589
11	670
12	694
13	720
14	775
15	800
16	820
17	850
19	790

Tiempo (horas)	Temperatura °C
0	30
4	180
5	240
6	300
7	394
8	480
9	540
10	589
11	670
12	694
13	720
14	775
15	800
16	820



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.7



Universidad de Cuenca
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Laboratorio de Construcciones y aplicaciones bioclimáticas
Cuenca, Azuay

Informe No LCAB-FAU-2015-0004-L

Cuenca, 16 de noviembre 2015

En referencia al memorando No. UC-FAU-2015-0438-M, del día 31 de julio de 2015, en donde se autoriza el uso del laboratorio.

Informe

Que él Sr. William Benjamín Lema Tamay con CI 0106411168, han realizado los ensayos de rotura de muestras para el Proyecto "Alternativas para la sustitución de óxido de plomo en el Vidriado de tejas".

Los días de ensayo corresponden al 01, 03 del mes de septiembre y el 16 de septiembre del presente año, con un total de 45 diferentes muestras ensayadas con la máquina para ensayos de compresión y flexión, ACCU-TEK touch 350, mediante la norma ASTM C-39; AASHTO T-22, y capacidad de 1,555 kN (350.000,00 lbf).

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente el día 11 de noviembre de 2015, y se adjunta el resultado de los ensayos.


Edison Castillo C.

Registro.7526 R-15-25780

Técnico Docente;



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ENSAYOS DE FLEXIÓN SOBRE TEJAS

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca
Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas

Instrumento tipo: **Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350.**

Nombre: **FUAC**
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Número: 0001
Fecha de creación: 15/09/09

Fecha de revisión:
Año lectivo: 2012-2014

Identificación: 100047

Tipos de ensayo:

Tipo 1

Tipo 2

Tipo 3

Tipo 4



FECHA DE CONFECCION	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	PESO W (kg)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	AREA APFOC. (cm²)	P. VOLU. (kg/cm³)	C. DE ROTURA (kg)	F. DE ROTURA (kg/cm²)	COGGO	NOIA	TIPO	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
28-jul-15	01-sep-15	35	930,00	32,00	16,70	534	54	35	0,065	HT1	10,30	1	16,20	61		
28-jul-15	01-sep-15	35	947,20	32,30	16,90	546	54	40	0,073	HT3	10,30	1	16,21	61		
28-jul-15	01-sep-15	35	988,20	32,30	17,30	559	55	30	0,054	HT4		2	16,20	62		
28-jul-15	01-sep-15	35	992,10	32,20	17,00	547	56	98	0,179	HT8	11,15	2	16,25	62		
28-jul-15	01-sep-15	35	988,80	32,00	16,95	542	57	181	0,334	HT9		2	16,30	60		
28-jul-15	01-sep-15	35	1.015,00	32,50	17,20	559	56	42	0,075	EHT1		2	16,25	62		
28-jul-15	01-sep-15	35	1.012,20	32,10	17,10	549	57	54	0,098	EHT3		4	16,80	60		
28-jul-15	01-sep-15	35	992,50	32,00	17,05	593	31	48	0,048	EHT6	11,45	4	16,95	62		
28-jul-15	01-sep-15	35	939,20	32,00	16,80	538	55	74	0,138	EHT7		1	16,90	62		
29-jul-15	01-sep-15	34	990,20	32,40	17,35	562	54	74	0,132	EHT8		2	16,93	63		
29-jul-15	01-sep-15	34	980,00	32,40	17,05	552	55	61	0,110	CHT3	12,10	2	16,93	63		
29-jul-15	01-sep-15	34	995,60	32,10	17,15	551	56	54	0,098	CHT4		3	17,00	63		
29-jul-15	01-sep-15	34	1.001,00	32,20	17,40	560	55	55	0,098	CHT5		4	17,10	63		
29-jul-15	01-sep-15	34	1.010,00	32,30	17,30	559	56	56	0,100	CHT6	12,40	3	17,15	63		
29-jul-15	01-sep-15	34	1.011,00	32,00	16,70	534	59	57	0,107	CHT8		2	17,20	63		

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Aguilín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edson.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

Edson Castillo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

		ENSAYOS DE FLEXIÓN SOBRE TEJAS				Número: 0001	
						Fecha de creación: 15/09/09	
						Fecha de revisión:	
						Año lectivo: 2015-2016	
						Serie: 1411000473	
						Tipo 1	
						Tipo 2	
						Tipo 3	
						Tipo 4	

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca
 Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas
 Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de homón ACCU-TEK touch 350.

FECHA DE CONEXION	FECHA DE ROTURA	EDAD ENJATO (dias)	PESO W (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)	AREA APROX. (cm ²)	P. VOLU. (kg/mc)	C. DE ROTURA (kg)	F. DE ROTURA (kg/cm ²)	CODIGO	HORA	TIPO	Temperatura (°C)	Humedad relativa, %	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
31-jul-15	16-sep-15	47	961.10	31.40	17.30	543	56	76	0.140	EB.1.EFA80		2	18.60	57.60		
31-jul-15	16-sep-15	47	930.50	31.40	16.75	526	56	70	0.133	EB.2.EFA80		4	18.65	57.45		
31-jul-15	16-sep-15	47	964.50	31.60	16.35	517	59	55	0.106	EB.5.EFA80	15:30	4	18.69	57.48		
31-jul-15	16-sep-15	47	922.60	31.20	16.85	526	56	65	0.124	EB.6.EFA80		3	18.90	57.35		
31-jul-15	16-sep-15	47	965.80	31.70	17.15	544	56	74	0.136	EB.10.EFA80		2	19.10	57.85		
31-jul-15	16-sep-15	47	952.00	31.40	16.60	521	58	68	0.130	EB.2.C		2	18.10	57.54		
31-jul-15	16-sep-15	47	929.60	31.40	16.90	531	56	54	0.102	EB.3.C		3	17.90	57.56		
31-jul-15	16-sep-15	47	975.70	31.40	16.90	531	59	67	0.126	EB.5.C	16:15	4	17.85	57.60		
31-jul-15	16-sep-15	47	936.90	31.50	16.80	529	56	73	0.138	EB.7.C		1	17.90	57.45		
31-jul-15	16-sep-15	47	1.006.70	31.70	17.00	539	59	46	0.085	EB.10.C		1	17.50	57.15		
03-ago-15	03-sep-15	31	975.30	32.30	17.00	549	55	52	0.095	EB.2		2	17.60	57.12		
03-ago-15	03-sep-15	31	988.70	32.20	17.40	560	55	30	0.054	EB.4		3	17.50	57.10		
03-ago-15	03-sep-15	31	1.001.80	32.10	16.95	544	57	63	0.116	EB.6	16:50	3	17.20	57.00		
03-ago-15	03-sep-15	31	991.10	32.20	17.20	554	56	28	0.051	EB.7		1	17.10	57.00		
03-ago-15	03-sep-15	31	967.40	31.90	16.75	534	57	42	0.079	EB.8		1	17.10	56.90		Edison Castillo C.

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

Edison Castillo C.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

A5.8

 <p>CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA</p>	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-819-820 Hoja 1 de 1
--	------------------------------	-------------------------------

CLIENTE: PROYECTO TEJAS, WILLIAM LEMA
MUESTRAS: TEJAS VIDRIADAS EN POLVO
FECHA: 2015-09-15

ANÁLISIS QUÍMICO

MUESTRA	PLOMO mg/kg
CEHT	0,52
CCHT	0,56

OBSERVACIONES:

- Método: Lixiviación ácida (pH 5) y Absorción Atómica,
- Fecha de recepción de muestra 2015-08-27


Responsable Área Metales


Directora CESEMIN

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del **CESEMIN**.
El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01 Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



UNIVERSIDAD DE CUENCA

 <p>CESEMIN Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos UNIVERSIDAD DE CUENCA</p>	REPORTE DE RESULTADOS	N° RMG-849-850 Hoja 1 de 1
--	------------------------------	-------------------------------

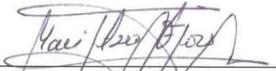
CLIENTE: PROYECTO TEJAS
MUESTRAS: TEJAS VIDRIADAS EN POLVO
FECHA: 2015-10-16

ANÁLISIS QUÍMICO

MUESTRA	PLOMO mg/kg
CCHE	N.C
CEHE	N.C

OBSERVACIONES:

1. N.C: No cuantificado. Límite de cuantificación de plomo igual a 0,25ppm
2. Método: Lixiviación ácida (pH 5) y Absorción Atómica.
3. Fecha de recepción de muestra 2015-10-12


Responsable Área Metales


Director CESEMIN

cc. archivo

Notas: Este informe sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo.
 Este el informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESEMIN.
 El laboratorio no se responsabiliza del muestreo, los análisis se efectúan sobre la muestra entregada por el cliente.
 Los datos sobre la muestra, incluido el nombre, son proporcionados por el cliente y son de su entera responsabilidad.

FMC2302-01

Universidad de Cuenca, sector Balzaín- Telefax: (07) 4089561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador
<http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>