

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE ELABORACIÓN DE PASTAS DE MOLDEO Y JUGUETES LÚDICOS CON MATERIAL ARCILLOSO DE COTOPAXI Y PASTAZA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
QUÍMICA**

ANGELA MARÍA FAJARDO RUILOVA
amfrgn@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ALICIA GUEVARA, Ph. D
alicia.guevara@epn.edu.ec

Quito, Enero 2017

© Escuela Politécnica Nacional (2017)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

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

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

Angela María Fajardo Ruilova

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Angela María Fajardo Ruilova, bajo mi supervisión.

Ing. Alicia Guevara, PhD
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Alicia Guevara por su generosidad al compartir su conocimiento y experiencia científica en la realización del presente trabajo. Igual manera al generoso tribunal conformado por dos grandes eminencias: Ing. Luis Mera Silva y Dra. Diana Endara, al mejorar el informe final.

Al Ingeniero Msc. Fabián Balseca, gracias por las debidas revisiones y recomendaciones para el trabajo escrito.

Sin lugar a dudas al Dr. Arístides Vara Horna, por sus guías prácticas en cómo desarrollar una buena tesis.

Al Señor Jorge Olmos y familia, así como a Gabriel Vizcaíno, Kléber Geovanny Collantes por su asesoría y facilitar las materias primas para el desarrollo del procedimiento experimental.

A Dr. Santiago Díaz Grijalva, Ing. Salomé Galeas, Ing. MSc. Miguel Aldás, Ing. Isaac Meza, Ing. MSc. Salvatore Reina, Ing. Fidel Vallejo, Ing. Sarita Crespo, Ing. Ana Luisa Barrera, Paola Zárate, MSc, Ruth Tapia, por su generosa colaboración en las revisiones del presente trabajo.

A mis queridos profesores, Dra. Ximena Díaz, Dra. Florinella Muñoz, Ing. Gastón Guerra, Ing. Lucía Montenegro por el conocimiento compartido.

DEDICATORIA

Dirigido con mi alta estima y aprecio a todos los niños, para que se diviertan aprendiendo así como para estudiantes y comunidad en general.

A Marisol Ibaza (Mi comadre), Martha Abad, Guido Zambrano, René Pujos, Jhonny Gaibor, Gaby Oña, Kléber Guanochanga, Pauli, Miguel de Santiago, Javier Yaselga, Monse Intriago, Nancy Espín, Jessenia Chango, Fernando Acosta y todos a quienes puedo llamar amigos.

A mi madrina Elba Castillo, por haberme puesto una guitarra a los 17 años y a mis amigos Patricio Sánchez, Gabriel Salas, Christian Mantilla por las mil y una ocurrencias musicales. En efecto, el mundo entero necesita más guitarras y menos armas.

A toda mi familia, los amo. Cito una de las trece máximas del Rabí Salanter: Lo que es odiado para ti, no se lo hagas al otro. (מה שנוא בשבילך, אל תעשה לאחרים).

מריה לה'אנג

“Si el autor omnisciente de la naturaleza,
Supiera que el estudio de sus obras
Tiende a hacer que los hombres no crean en su ser o atributos,
No les habría dado tantas invitaciones
Para estudiar y contemplar la naturaleza.”
(Robert Boyle)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xxii
INTRODUCCIÓN	xxiv
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 La industria cerámica en el ecuador	1
1.1.1 Industrias cerámicas	2
1.1.2 Procedencia de materias primas	4
1.1.2.1 Áreas fuente de materiales cerámicos a nivel nacional	4
1.1.2.2 Evolución histórica de la producción nacional	5
1.1.2.3 Localización de materias primas	9
1.1.2.4 Importaciones de materias a emplearse en la industria cerámica	10
1.1.2.5 Exportaciones de materias primas a emplearse en la industria cerámica	12
1.2 Desarrollo de una pasta cerámica	12
1.2.1 Constituyentes de una pasta cerámica	13
1.2.1.1 Materias primas plásticas	14
1.2.1.2 Materias primas no plásticas	17
1.2.1.3 Aglomerantes cerámicos	18
1.2.1.4 Colorantes cerámicos	20
1.2.1.5 Análisis más usuales para la evaluación de propiedades en pastas cerámicas	20
1.3 Equipos empleados en el procesamiento de minerales arcillosos	21
1.3.1 Disminución de tamaño de minerales arcillosos	22
1.3.1.1 Chancadora de mandíbulas para trituración primaria de materias primas arcillosas	22
1.3.1.2 Chancadora de cono para trituración secundaria de minerales de arcilla	24
1.3.2 Mezclado y homogeneizado de materias primas	26
1.3.2.1 Mezcladora de paletas para uniformidad de mezclas cerámicas	26
1.3.3 Conformado de piezas cerámicas	30
1.3.3.1 Extrusora para formar cuerpos cerámicos	30
1.3.4 Secado y cocción de piezas cerámicas	32
1.3.4.1 Hornos cerámicos	32
1.3.5 Empacado de productos	35

1.3.5.1	Empacadora horizontal Flow Pack para pastas de moldeo (cerámica fría)	35
2	PARTE EXPERIMENTAL	37
2.1	Caracterización química, física y mineralógica de las arcilla comerciales y materiales arcillosos de cotopaxi y pastaza	39
2.1.1	Caracterización física de pastas de moldeo comerciales y muestras arcillosas de cotopaxi y pastaza	40
2.1.1.1	Densidad Real	41
2.1.1.2	Densidad Aparente	43
2.1.1.3	Porosidad	44
2.1.1.4	Granulometría	45
2.1.1.5	Contenido de humedad en Pastas de Moldeo Comerciables y Materias Primas	48
2.1.1.6	Color de Pastas de Moldeo Comerciales y Materias Primas	49
2.1.2	Caracterización química de pastas de moldeo comerciales y muestras arcillosas de cotopaxi y pastaza	50
2.1.2.1	Composición química en Pastas de Moldeo Jovi y Materias Primas	51
2.1.2.2	pH en Pastas de Moldeo Jovi y Materiales Arcillosos de Cotopaxi y Pastaza	52
2.1.3	Caracterización mineralógica de pastas de moldeo comerciales y muestras arcillosas de cotopaxi y pastaza	53
2.1.3.1	Composición mineralógica pastas Jovi de moldeo y materias primas	53
2.1.3.2	Estructura pastas de moldeo comerciables y muestras arcillosas de Cotopaxi y Pastaza por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	56
2.2	Formulación y caracterización de pastas arcillosas para moldeo	57
2.2.1	Reciclado de celulosa como aglomerante previo a la formulación de pastas arcillosas para moldeo	58
2.2.2	Mezclado, formulación de pastas arcillosas y caracterización	60
2.2.3	Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de pastas arcillosas	62
2.2.3.1	Determinación de la densidad aparente	62
2.2.4	Determinación de índices plásticos y límites de atterberg en pastas arcillosas	63
2.2.4.1	Plasticidad mediante ensayos de Pfefferkorn	64
2.2.4.2	Límites de Atterberg	66
2.3	Definición y caracterización de mezclas arcillosas para elaboración de juguetes lúdicos	68
2.3.1	Elaboración de juguetes lúdicos a escala	68
2.3.1.1	Preparación de las probetas de mezclas arcillosas para la elaboración de juguetes lúdicos a escala	69

2.3.2	Propiedades físicas de las piezas lúdicas	71
2.3.2.1	Porcentaje de pérdidas por ignición	71
2.3.2.2	Porcentaje de absorción de humedad	73
2.3.2.3	Contracción lineal	74
2.3.2.4	Contracción a la quema	74
2.3.2.5	Color a la quema	76
2.3.3	Propiedades químicas de las piezas lúdicas	76
2.3.3.1	Determinación de la composición química semicuantativa mediante MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)	76
2.3.3.2	Test de toxicidad (TCLP)	77
2.4	Definición de diagrama de flujo y dimensionamiento de equipos	78
2.4.1	Diagrama de flujo	79
2.4.2	Dimensionamiento de equipos	81
2.5	Evaluación de la prefactibilidad económica de la planta diseñada	83
2.5.1	Localización de planta	83
2.5.2	Determinación costos fijos	83
2.5.3	Determinación de costos de producción	84
2.5.4	Fijación de precios	84
2.5.5	Evaluación económica para un tiempo de 10 años	84
2.5.6	Análisis de sensibilidad	85
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
3.1	Caracterización física, química y mineralógica pastas de moldeo comerciales y materiales arcillosos de cotopaxi y pastaza	87
3.1.1	Caracterización física en pastas jovi y materias primas	88
3.1.2	Propiedades químicas de arcillas	92
3.1.3	Propiedades mineralógicas de pastas jovi y materias primas	95
3.2	Formulación y caracterización de pastas arcillosas para moldeo	107
3.2.1	Propiedades físicas de pastas frescas	109
3.2.2	Propiedades químicas de pastas frescas	110
3.2.3	Propiedades mineralógicas de pastas frescas	112
3.2.4	Propiedades plásticas de pastas frescas	113
3.3	Definición y caracterización de mezclas arcillosas para elaboración de juguetes lúdicos	116
3.3.1	Propiedades físicas de placas “quemadas” a 850 °C	118
3.3.2	Propiedades físicas de placas “quemadas” a 1000 °C.	119
3.3.3	Propiedades químicas de la placa de composición óptima y temperatura de sinterización óptima	121

3.4 Diagrama de flujo y dimensionamiento de equipos	123
3.4.1 Diagrama de flujo con balances de masas en la planta a diseñarse	124
3.4.2 Dimensionamiento de equipos	128
3.4.3 Obtención de aglomerante celulósico	129
3.4.4 Producción de pastas de moldeo y juguetes lúdicos	132
3.5 Evaluación de la prefactibilidad económica	144
3.5.1 Costos de producción	148
3.5.2 Fijación de precios	150
3.5.3 Evaluación económica para una duración de 10 años	151
3.5.4 Análisis de sensibilidad	153
3.5.4.1 Variación del volumen de venta en juguetes ludicos	153
3.5.4.2 Variación del precio de venta al público	155
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	158
4.1 CONCLUSIONES	158
4.2 RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFÍA	161
ANEXOS	187

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Número y Porcentaje de Industrias Cerámicas de acuerdo al tipo en Ecuador	2
Tabla 1.2.	Industrias dedicadas a la producción de Cerámica Roja y Blanca con los productos que se elaboran	3
Tabla 1.3.	Importaciones ecuatorianas de Caolín por bloques	10
Tabla 1.4.	Importaciones ecuatorianas de Bentonitas por bloques	11
Tabla 1.5.	Exportaciones ecuatorianas de caolín y bentonitas por bloques	12
Tabla 1.6.	Valores de W_i	24
Tabla 1.7.	Características de chancadoras tipo giratorio	26
Tabla 2.1.	Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de pasta de moldeo “blanca”	61
Tabla 2.2.	Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de pasta de moldeo “terracota”	62
Tabla 2.3.	Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de juguetes lúdicos	69
Tabla 3.1.	Densidad real, densidad aparente, porosidad de pastas Jovi y materias primas	89
Tabla 3.2.	Caracterización granulométrica de Pastas Jovi y materias primas	90
Tabla 3.3.	Contenido de humedad y color de pastas Jovi y Materias primas	91
Tabla 3.4.	Contenido de elementos químicos en pastas Jovi	93
Tabla 3.5.	Contenido de elementos químicos en materias primas	94
Tabla 3.6.	pH de Pastas comerciables y materias primas	95
Tabla 3.7.	Composición mineralógica de Pastas Jovi	96
Tabla 3.8.	Composición mineralógica de materias primas	97
Tabla 3.9.	Análisis de Montmorillonita	98

Tabla 3.10.	Análisis de Caolinita	100
Tabla 3.11.	Análisis de Muscovita	101
Tabla 3.12.	Contraste de hipótesis caracterización físico, química y mineralógica de pastas de moldeo comerciables y materiales arcillosos de Cotopaxi Pastaza	107
Tabla 3.13.	Densidad aparente (Bulk) y Color en Húmedo de Pastas Frescas	109
Tabla 3.14.	Densidad Real, Densidad Aparente y Porosidad en Pastas Frescas	109
Tabla 3.15.	Contenido de elementos químicos en pastas de moldeo óptimas	110
Tabla 3.16.	pH en pastas de moldeo óptimas	112
Tabla 3.17.	Composición mineralógica en Pastas de Moldeo Óptimas	113
Tabla 3.19.	Porcentaje de humedad requerido para el extrusado de mezclas	114
Tabla 3.20.	Límite líquido en Pasta de Moldeo Blanca	114
Tabla 3.21.	Límite líquido en Pasta de Moldeo Terracota	115
Tabla 3.22.	Límite plástico en Pastas de Moldeo óptimas	115
Tabla 3.23.	Contraste de hipótesis formulación y caracterización de pastas arcillosas para moldeo similares a pastas comerciales	116
Tabla 3.24.	Composición química de la mezcla arcillosa óptima para obtención de juguetes lúdicos	121
Tabla 3.25.	Resultados del test de toxicidad TCLP	122
Tabla 3.26.	Contraste de hipótesis elaborar juguetes lúdicos con materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza	123
Tabla 3.27.	Dimensiones de los tanques agitadores	129
Tabla 3.28.	Dimensiones estufa de secado	130
Tabla 3.29.	Dimensiones trituradora de celulosa.	131
Tabla 3.30.	Dimensiones cajas alimentadoras tipo Belt Feeder	133
Tabla 3.31.	Dimensiones chancadora de mandíbulas	133
Tabla 3.32.	Dimensiones chancadoras de cono	135
Tabla 3.33.	Dimensiones zarandas vibratorias	136
Tabla 3.34.	Dimensiones mezcladoras de paletas	138

Tabla 3.35.	Dimensiones extrusora	139
Tabla 3.36.	Dimensiones empacadora horizontal tipo flow-pack	140
Tabla 3.37.	Dimensiones horno de mufla	141
Tabla 3.38.	Horas máquina para planta multiproducto dos líneas de producción	142
Tabla 3.39.	Diagrama de proceso de los circuitos en planta	142
Tabla 3.40.	Rutas de los productos dentro de la planta organizada por procesos. Situación inicial	143
Tabla 3.41.	Rutas de los productos dentro de la planta organizada por procesos. Situación inicial	143
Tabla 3.42.	Contraste de hipótesis definición diagrama de flujo dimensionamiento de equipos	144
Tabla 3.43.	Costos de terreno	146
Tabla 3.44.	Distancias entre localización de la planta y áreas fuente	146
Tabla 3.45.	Costos fijos de inversión	147
Tabla 3.46.	Precios de maquinaria incluidos impuestos	147
Tabla 3.47.	Costos de luz y agua potable	148
Tabla 3.48.	Costos de mano de obra totales	148
Tabla 3.49.	Precios de materias primas	149
Tabla 3.50.	Precios de vehículos incluidos impuestos	149
Tabla 3.51.	Costos de producción mensuales	150
Tabla 3.52.	Costos unitarios de producción	150
Tabla 3.53.	Precios de venta al público	151
Tabla 3.54.	Flujo de fondos para distintos escenarios realistas en los que se ha variado el precio de venta al público del paquete individual de juguetes lúdicos	152
Tabla 3.55.	Influencia de la variación del volumen de ventas de juguetes en las entradas netas de capital	154
Tabla 3.56.	Influencia de la variación del precio de venta al público en las entradas netas de capital.	155

Tabla 3.57.	Contraste de hipótesis evaluación de la prefactibilidad económica de la planta diseñada	157
Tabla AI.1.	Densidad Real Pasta Jovi Blanca	188
Tabla AI.2.	Densidad Real Pasta Jovi Terracota	188
Tabla AI.3.	Densidad Real Arcilla Roja Sigchos	189
Tabla AI.4.	Densidad Real Mineral Arcilloso “La Victoria”	189
Tabla AI.5.	Densidad Real Caolín Puyo	190
Tabla AI.6.	Densidad Real Arcilla Verde Puyo	190
Tabla AI.7.	Densidad Real Arcilla Verde Puyo	191
Tabla AI.8.	Densidad Aparente Pasta Jovi Blanca	191
Tabla AI.9.	Densidad Aparente Pasta Jovi Terracota	192
Tabla AI.10.	Densidad Aparente Arcilla Roja Sigchos	192
Tabla AI.11.	Densidad Aparente Mineral arcilloso “La Victoria”	193
Tabla AI.12.	Densidad Aparente Caolín Puyo	193
Tabla AI.13.	Densidad Aparente Arcilla Verde Puyo	194
Tabla AI.14.	Densidad Aparente Arcilla Gris Puyo	194
Tabla AI.15.	Densidad Real Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca	195
Tabla AI.16.	Densidad Real Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota	195
Tabla AI.17.	Densidad Real Pasta de Moldeo Blanca	196
Tabla AI.18.	Densidad Real Pasta de Moldeo Terracota	196
Tabla AI.19.	Densidad Aparente Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca	197
Tabla AI.20.	Densidad Aparente (Da) Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota	197
Tabla AI.21.	Densidad Aparente Pasta de Moldeo Blanca	198
Tabla AI.22.	Densidad Aparente Pasta de Moldeo Terracota	198
Tabla AI.23.	Granulometría Pasta Jovi Blanca	199
Tabla AI.24.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Pasta Jovi Blanca	200

Tabla AI.25.	Granulometría Pasta Jovi Terracota	201
Tabla AI.26.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Pasta Jovi Terracota	202
Tabla AI.27.	Granulometría Caolín Puyo	203
Tabla AI.28.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Caolín Puyo	204
Tabla AI.29.	Granulometría Arcilla Verde Puyo	205
Tabla AI.30.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Verde Puyo	206
Tabla AI.31.	Granulometría Arcilla Roja Sigchos	207
Tabla AI.32.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Roja Sigchos	208
Tabla AI.33.	Granulometría Mineral arcilloso “La Victoria”	209
Tabla AI.34.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Mineral arcilloso “La Victoria”	210
Tabla AI.35.	Granulometría Arcilla Gris Puyo	211
Tabla AI.36.	Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Gris Puyo	212
Tabla AI.37.	Contenido de Humedad Pasta Jovi Blanca	213
Tabla AI.38.	Contenido de humedad Pasta Jovi Terracota	213
Tabla AI.39.	Contenido de humedad Arcilla Roja Sigchos	214
Tabla AI.40.	Contenido de humedad Mineral arcilloso “La Victoria”	214
Tabla AI.41.	Contenido de humedad Caolín Puyo	215
Tabla AI.42.	Contenido de humedad Arcilla Verde Puyo	215
Tabla AI.43.	Contenido de humedad Arcilla Gris Puyo	216
Tabla AI.44.	Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca	216
Tabla AI.45.	Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota	217
Tabla AIII.1.	Propiedades físicas en probetas de pastas de moldeo color blanco	234
Tabla AIII.2.	Propiedades físicas en probetas de pastas de moldeo color terracota	235

Tabla AIII.3.	Composición mineralógica de pastas de moldeo previas a las óptimas	236
Tabla AIII.4.	Datos obtenidos ensayo Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo blanca	236
Tabla AIII.5.	Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo blanca	237
Tabla AIII.6.	Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo terracota	238
Tabla AIII.7.	Límite líquido Pasta de Moldeo Terracota	239
Tabla AIII.8.	Límite líquido Pasta de Moldeo Blanca	240
Tabla AIII.9.	Límite líquido Pasta de Moldeo Terracota	241
Tabla AIII.10.	Límite Plástico Pasta de Moldo Blanca	242
Tabla AIII.11.	Límite Plástico Pasta de Moldo Blanca	242
Tabla AIV.1.	Datos experimentales para la obtención de porcentajes de pérdidas y absorción de humedad en placas “quemadas” a 850 °C	243
Tabla AIV.2.	Datos experimentales para la obtención de porcentajes de pérdidas y absorción de humedad en placas “quemadas” a 1000 °C	244
Tabla AIV.3.	Datos experimentales para la obtención de contracción al secado y a la quema en placas “quemadas” a 850 °C	245
Tabla AIV.4.	Datos experimentales para la obtención de contracción al secado y a la quema en placas “quemadas” a 1000 °C	246
Tabla AIV.5.	Color a la quema en placas “quemadas” a 850 °C	247
Tabla AIV.6.	Color a la quema en placas “quemadas” a 1000 °C	247
Tabla AV.1.	Resultados dimensionamiento tanque agitador	249
Tabla AV.2.	Resultados dimensionamiento estufa de secado	251
Tabla AV.3.	Resultados trituradora de cuchillas	252
Tabla AV.4.	Resultados dimensionamiento cajas alimentadoras	252
Tabla AV.5.	Resultados dimensionamiento trituradoras de mandíbula	253
Tabla AV.6.	Resultados dimensionamiento chancadoras de cono	254
Tabla AV.7.	Resultados dimensionamiento zaranda vibratoria	255
Tabla AV.8.	Resultados dimensionamiento mezcladora de paletas	258

Tabla AV.9.	Resultados dimensionamiento máquina extrusora	259
Tabla AV.10.	Resultados dimensionamiento empacadora horizontal	260
Tabla AV.11.	Resultados dimensionamiento horno mufla	263
Tabla AVI.1.	Días laborables para el proyecto	264
Tabla AVI.2.	Balance de masas para la generación de aglomerantes de celulosa	264
Tabla AVI.3.	Balance de masa para línea de producción en pastas de moldeo blanca y terracota	265
Tabla AVI.4.	Balance de masas para línea de producción de juguetes lúdicos	265
Tabla AVI.5.	Balance de masa total de agua para la planta	266
Tabla AVI.6.	Consumo energético de los equipos para producción de pastas de moldeo	266
Tabla AVI.7.	Consumo energético de los equipos para producción de juguetes lúdicos	266
Tabla AVI.8.	Estudio de la rentabilidad en un periodo de 10 años, primer criterio realista	268
Tabla AVI.9.	Estudio de la rentabilidad en un periodo de 10 años, segundo criterio realista	269
Tabla AVI.10.	Estudio de la rentabilidad en un periodo de 10 años, tercer criterio realista	270
Tabla AVI.11.	Análisis de sensibilidad variación del volumen de ventas, criterio optimista	271
Tabla AVI.12.	Análisis de sensibilidad variación del volumen de ventas, criterio pesimista	272
Tabla AVI.13.	Análisis de sensibilidad variación del precio de venta al público, criterio optimista	273
Tabla AVI.14.	Análisis de sensibilidad variación del precio de venta al público, criterio pesimista	274

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Rocas y Minerales Industriales del Ecuador	4
Figura 1.2.	Evolución de la Producción Nacional de Sílice Reportada	5
Figura 1.3.	Evolución de la Producción Nacional de Caliza Reportada	6
Figura 1.4.	Evolución de la Producción Nacional de Caolín Reportada	7
Figura 1.5.	Evolución de la Producción Nacional de Arcilla	8
Figura 1.6.	Evolución de la Producción Nacional de Feldespato Reportada	9
Figura 1.7.	Diagrama triaxial Feldespato-Arcilla-Sílice para producción de diferentes productos comerciables	13
Figura 1.8.	Lámina tetraédrica, vista superior de caolinita	15
Figura 1.9.	Estructura cristalina de la caolinita	15
Figura 1.10.	Esquema de una trituradora de mandíbulas	23
Figura 1.11.	Estructura interna de una chancadora de cono	25
Figura 1.12.	Esquema de una mezcladora de paletas	27
Figura 1.13.	Vista isométrica de una extrusora	31
Figura 1.14.	Horno mufla para quema de ladrillos.	33
Figura 1.15.	Partes de una empacadora horizontal.	36
Figura 2.1.	Diagrama de flujo del procedimiento experimental	37
Figura 2.2.	Arcilla después de lavado el exceso de sal	55
Figura 2.3.	Preparación de placas. a) Secado al aire b) Calcinación a 550 °C c) Solvatación en etilenglicol	56
Figura 2.4.	Esquema del método para obtención de aglutinante celulósico a partir de papel bond reciclado	59
Figura 2.5.	Esquema del mecanismo manivela, émbolo, boquilla de la extrusora empleada para el conformado de probetas en el ensayo de Pfefferkorn	65
Figura 2.6.	Equipo copa Casagrande a) Vista frontal b) Vista Lateral	67

Figura 2.7.	Preparación de probetas a) Conformado por prensado. b) “quemada” de placas	71
Figura 2.8.	Diagrama de flujo en bloques de la planta multiproducto para obtención de pastas frías y juguetes lúdicos	80
Figura 3.1.	Caolín Puyo, muestra homoionizada en potasio calcinado a 550°C	99
Figura 3.2.	Caolín Puyo, muestra homoionizada en potasio calcinado a 550°C	101
Figura 3.3.	Arcilla Verde Puyo, homoionizado potasio secado al aire	102
Figura 3.4.	Microfotografía electrónica de barrido Pasta Jovi Blanca (a) 100X b) 1000X)	103
Figura 3.5.	Microfotografía electrónica de barrido Pasta Jovi Terracota (a) 100X b) 1000X)	104
Figura 3.6.	Microfotografía electrónica de barrido Arcilla Roja Sigchos (a) 1000X b) 3000X)	104
Figura 3.7.	Microfotografía electrónica de barrido mineral arcilloso “La Victoria” (a) 1000X b) 3000X)	105
Figura 3.8.	Microfotografía electrónica de barrido Caolín Puyo (a) 1000X b) 3000X)	105
Figura 3.9.	Micrografía electrónica de barrido Arcilla Verde Puyo (a) 1000X b) 3000X)	106
Figura 3.10.	Microfotografía electrónica de barrido Arcilla Gris Puyo (a) 1000X b) 3000X)	106
Figura 3.11.	Pérdidas a la quemada y absorción de humedad en probetas “quemadas” a 850 °C	119
Figura 3.12.	Pérdidas a la quemada y Absorción de humedad en probetas “quemadas”	120
Figura 3.13.	Diagrama de flujo del balance de masas para el diseño de la línea de producción de pastas de moldeo	125
Figura 3.14.	Diagrama de flujo del balance de masas para el diseño de la línea de producción de juguetes lúdicos	127
Figura 3.15.	Esquema de acotaciones para tanque de lixiviación (mm)	130
Figura 3.16.	Esquema de acotaciones para estufa de secado	131

Figura 3.17.	Esquema de acotaciones para trituradora de celulosa.	132
Figura 3.18.	Esquema de acotaciones para chancadora de mandíbulas	134
Figura 3.19.	Esquema de acotaciones para trituradora de cono	136
Figura 3.20.	Esquema de acotaciones para zaranda vibratoria	137
Figura 3.21.	Esquema de acotaciones para mezcladora de paletas	138
Figura 3.22.	Esquema de acotaciones para extrusora	139
Figura 3.23.	Esquema de acotaciones para empacadora horizontal tipo flow-pack	140
Figura 3.24.	Esquema de acotaciones para horno mufla	141
Figura AI.1.	Porcentaje pasado acumulado vs Abertura del tamiz muestra Pasta Jovi Blanca	200
Figura AI.2.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Pasta Jovi Terracota	202
Figura AI.3.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Caolín Puyo	204
Figura AI.4.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Verde Puyo	206
Figura AI.5.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Roja Sigchos	208
Figura AI.6.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Mineral arcilloso “La Victoria”	210
Figura AI.7.	Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Gris Puyo	212
Figura AII.1.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	218
Figura AII.2.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con KCl: c) 550 ° C; d) Solvatación en Etilenglicol	219
Figura AII.3.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire.	220
Figura AII.4.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con magnesio c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	221

Figura AII.5.	Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	222
Figura AII.6.	Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con KCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	223
Figura AII.7.	Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	224
Figura AII.8.	Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con MgCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	225
Figura AII.9.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	226
Figura AII.10.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con KCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	227
Figura AII.11.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Vere Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	228
Figura AII.12.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con MgCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	229
Figura AII.13.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con KCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	231
Figura AII.14.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire	232
Figura AII.15.	Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con MgCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol	233
Figura AIII.1.	Regresión lineal para obtener el límite líquido de acuerdo a Pfeferkorn, pasta blanca	237
Figura AIII.2.	Regresión lineal para obtener el límite líquido de acuerdo a Pfeferkorn, pasta terracota	239
Figura AIII.3.	Límite líquido pasta de moldeo blanca	240
Figura AIII.4.	Límite líquido pasta de moldeo blanca	241

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Propiedades físicas en pastas de moldeo y materias primas	202
ANEXO II	
Difracción rayos x de materias primas	234
ANEXO III	
Pastas de Moldeo	250
ANEXO IV	
Juguetes Lúdicos	259
ANEXO V	
Ejemplos de cálculo en dimensionamiento de equipos	264
ANEXO VI	
Análisis operativo y económico del proyecto	279

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue diseñar una planta de producción de pastas de moldeo y juguetes lúdicos, con material arcilloso de las provincias Cotopaxi y Pastaza a partir de 50 kg/día por materia prima.

Para obtener pastas de moldeo reproducibles, se efectuó el análisis del efecto en la composición porcentual de las mismas. Una vez seleccionadas las materias primas, por comparación con las pastas Jovi (blanca y terracota provenientes de España), se obtuvieron pastas frescas a las cuales se analizaron propiedades físicas, químicas y mineralógicas. Así como los respectivos índices de plasticidad.

En cuanto a la factibilidad técnica de producir juguetes lúdicos se elaboraron probetas, en moldes de yeso, así como las respectivas caracterizaciones. Se realizaron dos (quemados) a 850 °C y a 1000 °C. Una vez optimizados los parámetros: composición porcentual así como la temperatura de sinterización, se procedió a medir las propiedades químicas.

Se realizó el diagrama de flujo y dimensionamiento de equipos en cuanto al diseño. Para obtener pastas como juguetes, se planteó una planta multiproducto con dos líneas de producción, la cual se localizaría en la provincia del Puyo.

Finalmente el análisis de sensibilidad económica mediante variación de las variables: precio de venta al público, así como el volumen de ventas. Para aumentar la TIR y buscar rentabilidad óptima.

Del presente trabajo, se concluyó que la mezcla de propiedades similares a la pasta Jovi Blanca fue del 80 % caolín Puyo, 15 % carbonato de calcio y 5 % celulosa reciclada. En tanto que para la pasta similar a la Jovi Terracota fue formulada con 40 % Caolín Puyo, 40 % Arcilla Roja Sigchos, 15 % carbonato de calcio y 5 % de celulosa.

Del análisis de mezclas arcillosas para la obtención de juguetes lúdicos se definió la mejor mezcla: Arcilla Roja Sigchos 25 % mineral arcilloso "La Victoria" 75 % y temperatura de sinterización óptima a 850 °C en 7 horas.

La planta diseñada resultó rentable cuando los precios de venta al público fueron: pasta de moldeado blanca US \$ 20,67, pasta terracota US \$ 20,46 y Paquete de juguetes lúdicos US \$ 5,00. La TIR fue de 19 %, valor presente neto de US \$ 31992,51, la inversión inicial se recuperaría en 5 años.

Se recomienda realizar una simulación de la planta así como analizar presupuestos para mejorar los costes de producción.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, se plantea el diseño de una planta con dos líneas de producción: pastas de moldeo y juguetes lúdicos, para una capacidad de procesamiento de 50 kg/día (materias primas minerales). El criterio de diseño se basa en dimensionar equipos que cumplan con lo requerido para producir tales productos. Se trata de una planta multiproducto, porque tiene dos líneas de producción diferentes, a comparación de las multipropósito. (Ravemark, Rippin, 2012, p. 114)

El proyecto surge para llevar de la producción tradicionalmente artesanal a la Industrial, de esta manera se consigue optimizar tiempos (reducir horas de trabajo innecesarias), incrementar la producción de cerámicas lúdicas así como de pastas frías a nivel nacional. La situación económica actual en el Ecuador es que carece de competitividad debido a la escasez de exportaciones así como la ausencia de producción a nivel nacional. De acuerdo a los datos de Banco Central del Ecuador año 2012 las importaciones FOB fueron USD 4.926,46 en tanto que las exportaciones FOB resultaron en USD 26,56. Lo cual representa una pérdida para el país en USD 4.896,90 porque las importaciones se realizan más que las exportaciones. Es necesario que el Ecuador alcance un equilibrio IMPORT/EXPORT. (Shames, 1995, p. 3)

En el Ecuador no se elaboran juguetes lúdicos ni pastas de moldeo cerámicas a escala industrial. Estos productos son importados desde países como Bélgica, Italia, Uruguay, España, Chile, etc. y se obtienen a un costo elevado, a pesar de que éstos artículos pueden ser elaborados en el país con material arcilloso nacional, a menor costo y evitando su innecesaria importación. La importancia del presente proyecto radica en formar también una fuente de empleo que resulte rentable, así como el aprovechamiento de las materias primas nacionales, lo cual significaría un ahorro significativo. (Opait, 2004, p. 81).

La producción nacional de juguetes lúdicos del tipo artesanal se centra en la parroquia rural “La Victoria”, perteneciente al cantón Pujilí, localizada a 5 km al

norte de Latacunga. Los trabajadores se dedican a la producción de cerámica decorativa y roja basados en el conocimiento adquirido durante varios años dedicados a la alfarería. Sin embargo el conocimiento empírico, no les ha permitido desarrollar productos de la calidad como la que se importa de otros países. A esto se suma la falta de canales de distribución de los productos, que imposibilita el crecimiento del mercado. (Cuvi, 1994, p. 63)

Se desea obtener pastas de moldeo con propiedades similares a las comerciales Jovi Blanca y Jovi Terracota, los productos a desarrollarse mediante análisis de laboratorio. Para tal objetivo, en primer lugar se analizaron las pastas Jovi, para discusión de propiedades a comparación de las materias primas provenientes de las provincias Cotopaxi y Pastaza. Una vez analizadas todas las muestras, se procedió a la selección de materias primas. Con las materias primas ecuatorianas, se optimizaron las mezclas para producir pastas frías de moldeo. La optimización de mezclas se realizó por análisis del efecto en la composición porcentual. Adicional se generó aglutinante celulósico, a partir de un método amigable con el medio ambiente (reciclado de papel bond usado). Una vez obtenidos los resultados óptimos, se procedió a medir las propiedades plásticas de las pastas: extrudabilidad, mediante uso del plasticímetro de Pfefferkorn, así como los límites de plasticidad: límite líquido, límite plástico. (Degryse, Elsen, 2003, p. 101)

Se requiere determinar la composición adecuada para la producción de juguetes lúdicos tales como ladrillos y tejas a escala. Para este objetivo se analizará el efecto de la composición porcentual de las materias arcillosas seleccionadas luego de la caracterización física, química y mineralógica, mediante los análisis de las propiedades físicas en probetas de ensayo “quemadas” a 850°C y 1000°C. Obtenidos los resultados de estos análisis se evaluará si son aptos para su uso mediante el test de toxicidad. Con esto, los juguetes lúdicos serán para el uso de los niños. (Lindeburg, 2013, p. 42).

En el primer capítulo se presenta la información para sustentar los objetivos específicos de la investigación: caracterizar, física química y mineralógicamente materiales arcillosos de Cotopaxi, Pastaza y pastas de moldeo comerciales;

formular y caracterizar pastas arcillosas para moldeo similares a pastas comerciales; elaborar juguetes lúdicos con materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza; definir el diagrama de flujo y dimensionar equipos para elaborar pastas de moldeo y juguetes lúdicos con el material arcilloso estudiado; evaluar la prefactibilidad económica de la planta diseñada. Se habla sobre la situación más reciente de la industria cerámica en el Ecuador, como se formulan pastas cerámicas, con los respectivos análisis. Por último, los equipos para procesamiento beneficio de minerales arcillosos y producción de cerámicas.

En el segundo capítulo se detalla la metodología empleada, teniendo en cuenta procedimientos validados en investigaciones previas. Se espera obtener pastas de modelado que se aproximen físico-química-mineralógica con las Jovi, así como lograr mezclas arcillosas para fabricar a nivel industrial juguetes lúdicos (los LEGO a nivel de polímeros, en manera análoga hacia lo cerámico). De igual manera se plantea la hipótesis de alcanzar precios competitivos de los productos y que el proyecto llegara a ser rentable económicamente. Se explica los métodos de caracterización física (densidad real por picnometría, densidad aparente metodología de la probeta, porosidad, granulometría en húmedo para las pastas comerciales así como en seco para los minerales arcillosos, contenido de humedad por secado en estufa y color en comparativa con la carta Munsell). Con respecto a la caracterización química se empleó la metodología: composición química lectura Absorción Atómica, así como pH por potenciometría. Para medición de propiedades mineralógicas se emplearon los siguientes métodos validados anteriormente: preparación de muestras polvos sueltos, lectura de minerales por difracción Rayos X así como obtención de agregados orientados depositados sobre placas de vidrio para mejor definición de minerales, por último la toma de microfotografías por Microscopía Electrónica de Barrido. Para obtención de pastas de modelaje, se formularon entre 7 y ocho mezclas de arcillas con carbonato de calcio por último empleando aglutinante celulósico obtenido a partir de papel bond usado (basado en los procesos para formar papel, con la diferencia que en el último paso el producto se reduce de tamaño a fracciones finas $< 200 \mu\text{m}$ aproximadamente). Las primeras mezclas corresponden al “blanco” o solo las materias primas para lograr comparativas en la densidad Bulk.

La variación de la composición porcentual influye directamente en la densidad de las probetas logradas en laboratorio, el criterio de selección para la pasta óptima fue a partir de la densidad Bulk, esta propiedad permite a su vez lograr la cantidad mínima de materias primas para lograr el objetivo. Una vez obtenidas las dos pastas físicamente similares a las Jovi, se les realizó análisis de propiedades físicas (densidad real, densidad aparente, porosidad), así como químicas (contenido de elementos químicos, pH), mineralógicas (contenido de minerales). Se esperaba que todos estos resultados se correspondan entre sí, en caso de suceder lo contrario, determinar su mejora en estudios posteriores. Por último se analiza la prefactibilidad técnica de producirlos, mediante el análisis de sus propiedades: plasticidad-extrudabilidad usando el plasticímetro de Pfefferkorn y los límites de Atterberg: Límite líquido y plástico. Para obtención de juguetes lúdicos se formularon 7 mezclas, la composición porcentual de las misas influye en las pérdidas por ignición así como en la absorción de humedad y contracción lineal tanto como a la quema.

Posterior formulación se realizaron “quemados” a 850°C y 1000°C con la finalidad de definir la temperatura de sinterización. Una vez obtenida la mezcla idónea para obtener juguetes se definió la prefactibilidad técnica de producirlos mediante el contenido de elementos químicos y el test de toxicidad TCLP. Una vez obtenida la data necesaria se procedió a definir el diagrama de flujo y modelar matemáticamente los equipos para procesamiento de minerales y obtención de los productos planteados. Por último el análisis de prefactibilidad económica, así como análisis de localización industrial, fijación de precios; para un tiempo de duración de 10 años se evaluó mediante los indicadores económicos TIR VAN y el respectivo análisis de sensibilidad.

En el tercer capítulo se detalla la discusión de resultados. Estos nuevos datos, se analizan de forma rigurosa con investigaciones anteriores, así como los análisis de las hipótesis (objetivos) que se plantearon. Se describen brevemente las características físico-químicas y mineralógicas en materias primas así como de pastas Jovi Blanca-Terracota. Conforme a los resultados obtenidos se analizó la idoneidad de los minerales arcillosos para producir pastas de modelaje así como

juguetes lúdicos a escala, otro criterio para selección, fue la cercanía de las propiedades analizadas entre arcillas y pastas. Para obtener pastas de moldeo “blancas” se mezclaron Caolín Puyo 80 % en peso, Carbonato de Calcio como anti plástico al 15 % y aglutinante celulósico al 5 %, en tanto que para producir pastas de modelado “terracotas” se mezclaron óptimamente Caolín Puyo 40 % (en peso), Arcilla Roja Sigchos 40 %, Carbonato de Calcio 15 % y aglomerante celulósico al 5 %. Técnicamente son factibles de realizar las pastas frías, con índices de extrudabilidad pfefferkorn de 44,58 % de humedad (pasta blanca), así como 32,31 % en humedad (pasta terracota), así como límites de Atterberg pasta Blanca 32,05 % y de 141,18 Pasta Terracota por último límite plástico 18,09 Pasta Blanca y 18 % Pasta Terracota logrando pastas de alta plasticidad. En cuanto a juguetes lúdicos la prefactibilidad técnica se determinó en producir mezclas 25 % Arcilla Roja Sigchos 75 % Mineral Arcilloso La Victoria alcanzando pérdidas a la quema bajas del 4,16 % así como absorción de humedad al 16 % con una temperatura de sinterización a los 850°C ya que a los 1000 °C las piezas resultantes sobre-cocidas, en resumen no es necesario llevar más alta la temperatura de “quema”. En cuanto a la composición de elementos químicos, se relacionan con lo requerido con el diagrama triaxial Rozeboom, cumpliendo por último con el contenido de elementos contaminantes por debajo de los límites permitidos TCLP. Con los datos obtenidos se dimensionaron 11 equipos para una planta, con capacidad de procesar 50 kg/día de materiales arcillosos, el layout sería en I a contracorriente. En cuanto al análisis económico, los precios de las pastas obtenidas en laboratorio no compiten con las existentes, en tanto que los juguetes sí, por otra parte, el proyecto en su totalidad resulta rentable con una TIR del 19 %, con utilidades totales de USD 292 837,06 y la inversión inicial se recuperaría en 5 años. El proyecto se vuelve económicamente sensible en los escenarios pesimistas al 100 %, en tanto que trabajando en escenarios optimistas la TIR sube a 21 % aumentando el volumen de ventas de juguetes lúdicos y al 35 % aumentando los precios de venta al público.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo, se detallan los aspectos relacionados en forma general de la Industria Cerámica tales como: número y porcentaje de las mismas de acuerdo al tipo, nombres de las principales empresas dedicadas a la producción de estos artículos.

Con la finalidad de enfatizar la importancia extractiva de materias primas ecuatorianas, se realizó un resumen sobre la procedencia de éstas, así como evolución histórica de la producción nacional. Adicional, se presenta una breve descripción sobre la localización de los materiales arcillosos empleados en este proyecto.

Del mismo modo, se analiza la situación económica actual en referencia a los resultados importación/exportación obtenidos del Banco Central del Ecuador, año 2012. También se desarrolló una breve explicación sobre cómo se constituyen las pastas cerámicas; la descripción de las materias primas plásticas, anti plásticas, aglutinantes, colorantes así como los ensayos para caracterización más empleados con frecuencia.

Por último se presenta información de la maquinaria empleada en la industria cerámica. Desde la disminución de tamaño de minerales arcillosos, así como del mezclado-homogeizado, conformado de piezas. Luego los equipos para secado y posterior cocción en lo referente a cerámica roja, por último la tecnología a emplearse para el empaquetado de pastas para modelaje. Todos estos con sus respectivos datos orientativos, factores de escalamiento geométrico y ecuaciones para diseño.

1.1 LA INDUSTRIA CERÁMICA EN EL ECUADOR

Se presenta un breve resumen sobre la situación actual en las industrias manufactureras de productos cerámicos en el Ecuador. Se describen, las áreas

fuentes a nivel nacional de materias primas para dicho uso, en donde se destacan los yacimientos que generan materiales de buena calidad, así como la descripción de su localización. Por último, se detalla la problemática actual de falta de competitividad por parte de nuestro país en explotar los propios recursos mediante datos de importaciones y exportaciones (FOB CIF) de Banco Central del Ecuador, año 2012.

1.1.1 INDUSTRIAS CERÁMICAS

La Tabla 1.1 presenta el número y porcentaje de industrias cerámicas de acuerdo al tipo de industria en Ecuador. Se han desarrollado principalmente las de Cerámica Roja y Blanca, ambos tipos con el 35 %, seguidas del Cemento con un 19 %, finalmente vidrios y refractarios con 9 % y 2 % respectivamente.

Tabla 1.1. Número y Porcentaje de Industrias Cerámicas de acuerdo al tipo en Ecuador

Tipo de Industria	Cantidad	Porcentaje de existencia en el país
Cerámica Blanca	15	35
Cerámica Roja	15	35
Cemento	8	19
Vidrios	4	9
Refractarios	1	2

(Hilyard, 1999, p. 70; Peres, Stumpo, 2002, p. 273)

En conclusión, en el Ecuador hace falta seguir industrializando la producción de cerámicas de forma moderada.

La Tabla 1.2., presenta las principales industrias de cerámica roja y blanca en el Ecuador. De acuerdo a la información presentada, todavía no se han desarrollado a nivel local plantas industriales, pequeña mediana o gran escala para la producción de pastas frías así como juguetes lúdicos (ladrillos, tejas y demás figuras a escala). En conclusión una planta multiproducto para elaborar pastas de cerámica fría, así como juguetes lúdicos cerámicos, sería pionera en el Ecuador

Tabla 1.2. Industrias dedicadas a la producción de Cerámica Roja y Blanca con los productos que se elaboran

NOMBRE DE LA INDUSTRIA	PRODUCTOS
Cerámicas Arsilco Cia. Ltda.	Vajillas de porcelana
Edesa S.A.	Porcelana Sanitaria y accesorios para baños.
Franz Viegner S.A.	Porcelana Sanitaria y accesorios para baños.
Silicatos y Óxidos Silióxidos S.A.	Tejas, baldosas, baldosas de gres.
C.A. Ecuatoriana de Cerámica	Baldosas de gres, baldosas y bloques para pisos, bloques y azulejos para paredes.
Graiman Cia. Ltda.	Baldosas y losas para pisos y azulejos para paredes.
Cerámica Andina C.A.	Vajillas de porcelana
Cerámica Alfarero	Adornos decorativos
Artesa S.A.	Vajillas y azulejos decorativas para baño y oficina
Cerámica Yapacunchi S.A.	Vajillas y adornos cerámicos
Cerámica Monte-turi	Accesorios para baños
Hagagres	Baldosas de gres.
Ladrillos y Cerámica S.A. Iacesa	Ladrillo, bloques de arcilla.
Cevicerámica	Adornos decorativos.
Cerámica Yanuncay	Tejas, ladrillos, bloques de arcilla.
Ipersan	Porcelana Sanitaria.
Cerámica Cuenca S.A.	Baldosas y azulejos para paredes.
Cerámica Rialto	Baldosas y bloques para pisos.
Italpisos S.A.	Baldosas y azulejos decorativos.
Cerámica Sinincay	Tejas.
Industria Ladrillosa	Ladrillos y bloques.
FCA de ladrillo y Teja de Luis Tuza	Ladrillos, bloques y tejas.
Arteja	Baldosas de gres y tejas.
Decorteja	Bloques para pisos y paredes.
Industria Cerámica Pionero	Ladrillos y bloques.
Alfadomus	Tejas bloques para paredes y losa, baldosas de gres, bloques para paredes vistas, baldosas y adoquines.

(Moreno, Peña, 1992, p. 42)

1.1.2 PROCEDENCIA DE MATERIAS PRIMAS

Las materias primas para la industria cerámica constituyen los minerales no metálicos. En forma principal las arcillas, carbonatos, sílice y feldespatos. Las primeras son más abundantes en la corteza terrestre. En el Ecuador, dentro de la zona austral, se ha desarrollado la industria cerámica de producción artística y vajillas por la buena calidad de las materias primas, los productos abastecen el mercado subregional. (Barroso, Ibáñez, 2014, p. 335). Se presentan las áreas fuente a nivel nacional, así como la evolución histórica de producción nacional y localización de materias primas.

1.1.2.1 Áreas fuente de materiales cerámicos a nivel nacional

De acuerdo a la Figura 1.1, en el Ecuador existen alrededor de 357 yacimientos de minerales no metálicos.

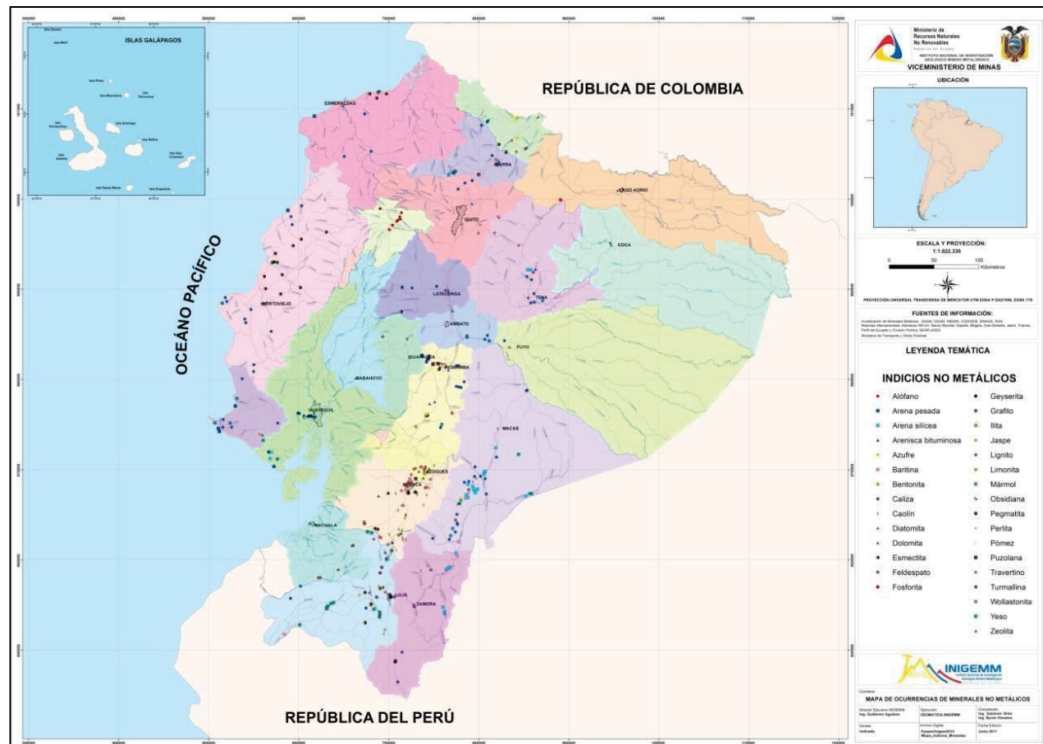


Figura 1.1. Rocas y Minerales Industriales del Ecuador
(Aguilera, Brito y Vizcaíno, Junio 2012)

Con respecto a la Figura 1.1, existen 36 áreas mineras de sílice, así como 64 áreas fuente de materiales formados de calizas; en cuanto a Caolín, hay 31 áreas fuente, por último se tiene alrededor de 18 áreas fuente en lo referente a Feldespatos. En conclusión, Ecuador tiene una muy buena cantidad de áreas fuente para materiales cerámicos. (Güetto, 2012, p. 53).

1.1.2.2 Evolución histórica de la producción nacional

Sílice: Durante el período 1998-2010, la producción acumulada fue de 4'488.672,56 toneladas, la producción más alta se registró en el año 2009 con 73.920,57 toneladas como lo muestra la Figura 1.2.

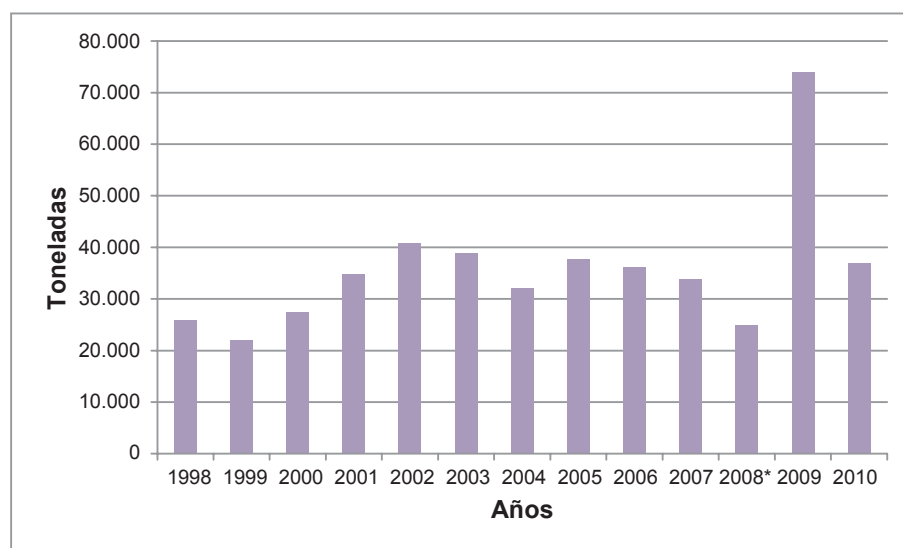


Figura 1.2. Evolución de la Producción Nacional de Sílice Reportada Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN, 2010)

Las principales minas de arenas síliceas se hallan a lo largo de la zona Subandina Oriental en las provincias orientales de Morona Santiago y Zamora Chinchipe. En Morona Santiago se encuentran las áreas de Limón Indanza y Chiviaza con reservas de 200 000 toneladas y con una producción anual de 10.000 toneladas. En la provincia de Zamora Chinchipe, las minas más importantes de arenas síliceas se encuentran en el área de La Esperanza y Guayzimi, estas arenas

silíceas son de la mejor calidad reportada hasta ahora en el país. (Paladines y Soto, 2010, p.235).

Caliza: La producción más alta de calizas fue en el año 2007 de 6'326.616,42 toneladas y la producción total fue de 58'817.700,24 toneladas como lo muestra la Figura 1.3.

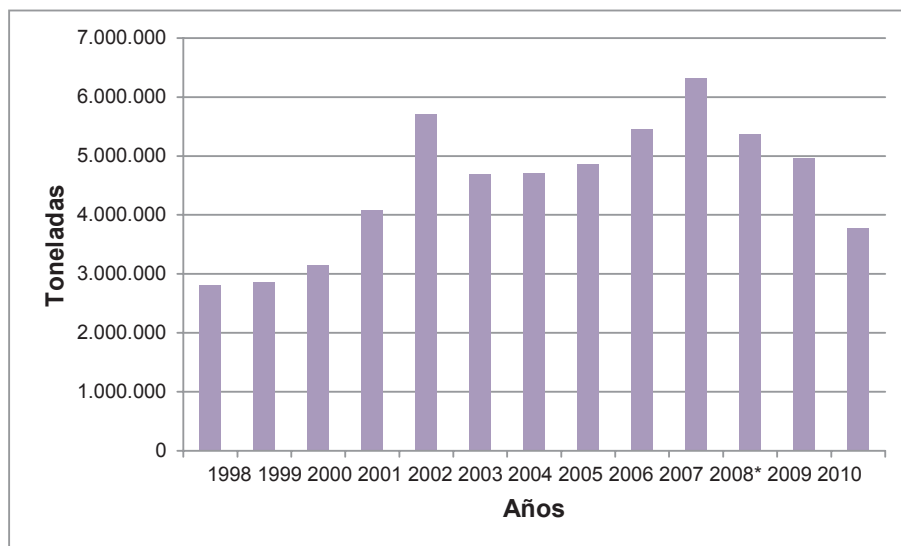


Figura 1.3. Evolución de la Producción Nacional de Caliza Reportada Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN, 2010)

De acuerdo a los criterios de ubicación y accesibilidad en el país existen tres zonas en donde sería una prioridad la explotación de calizas para uso industrial: a lo largo del levantamiento Napo perteneciente a la zona Subandina oriental, están las calizas de la formación Napo, de esta formación en la localidad de Misahuallí (Nemcok, Mora, Crosgrave, 2013, p. 62).

La siguiente zona se encuentra hacia el occidente de la Cordillera Occidental, a lo largo se encuentran yacimientos de caliza de origen biogérmico del Eocénico y la zona más importante se localiza en la provincia de Cotopaxi, cercana a las ciudades de principal consumo como son Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba; en Unacota se han evaluado grandes volúmenes en reservas que producirían 3.000 toneladas diarias para algunas decenas de años (von Humboldt, 2013, p. 62).

Desde el punto de vista industrial la formación San Eduardo contiene los yacimientos más importantes de caliza para la industria del cemento como aglomerante, ubicadas en la cuenca Progreso, hacia el sur de la Cordillera Chongón-Colonche en el año 2010 se alcanzó una producción de 3.6 millones de toneladas (Balukhovsky, Khain, 1997, p. 252).

Caolín: En el año 2008 se reportó la producción más alta de caolín como lo muestra la Figura 1.4 con 42.613,90 toneladas y un total de producción en 231.699,22 toneladas.

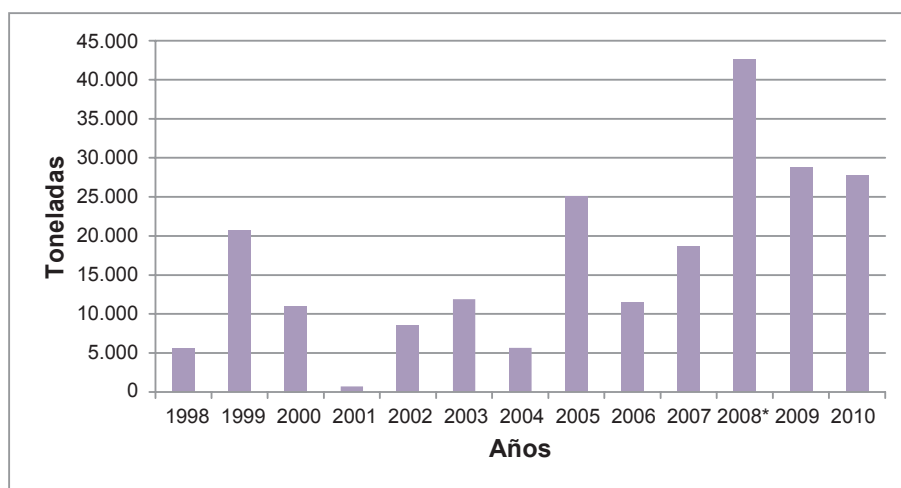


Figura 1.4. Evolución de la Producción Nacional de Caolín Reportada Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN, 2010)

La mayor cantidad de áreas se encuentran en la Región Austral en las cuencas inter montañosas Cuenca-Biblián-San Fernando y Loja-Malacatos-Catamayo Estas arcillas son de excelente calidad, que se encuentran relacionadas a cuencas sedimentarias lacustres del Mioceno. La Región Austral, provincias de Cañar, Azuay y Loja, está cubierta por las formaciones geológicas Tarqui y Saraguro y se caracterizan por encontrarse caolinizadas esto se debe a su color blanco característico. (Kogel, 2006, p. 18).

Arcillas: La evolución productiva nacional de este mineral se presenta en la Figura 1.5:

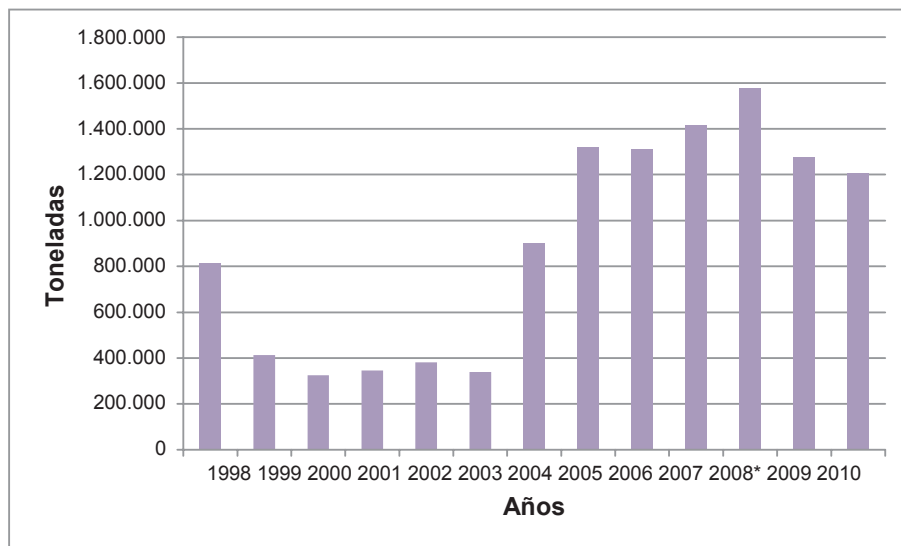


Figura 1.5. Evolución de la Producción Nacional de Arcilla Reportada Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN, 2010)

El total de la producción desde el año 1998 hasta el 2010 fue de 11'829.084,97 toneladas, la producción más baja fue en el año 2000 con 324.671,20 toneladas mientras que la más alta fue en el año 1'577.932,61 toneladas como lo muestra la Figura 1.5.

Hacia las regiones Costera y Amazónica los procesos de alteración e intemperismo, originan suelos lateríticos que suelen alcanzar decenas de metros en espesor; las lateritas constituyen arcillas rojas con altos contenidos de óxidos de hierro y se emplean en la producción de cerámica tosca (ladrillos y tejas). Las principales provincias productoras de arcillas son Guayas, Imbabura y Chimborazo. (Paladines y Soto, 2005, p. 146).

Feldespatos: En cuanto a la producción de feldespatos en el país, en el año 2002 se registró la producción más baja de 31.254,00 toneladas mientras que la producción más alta fue en el año 2010 con 156.888,06 toneladas como lo muestra la Figura 1.6.

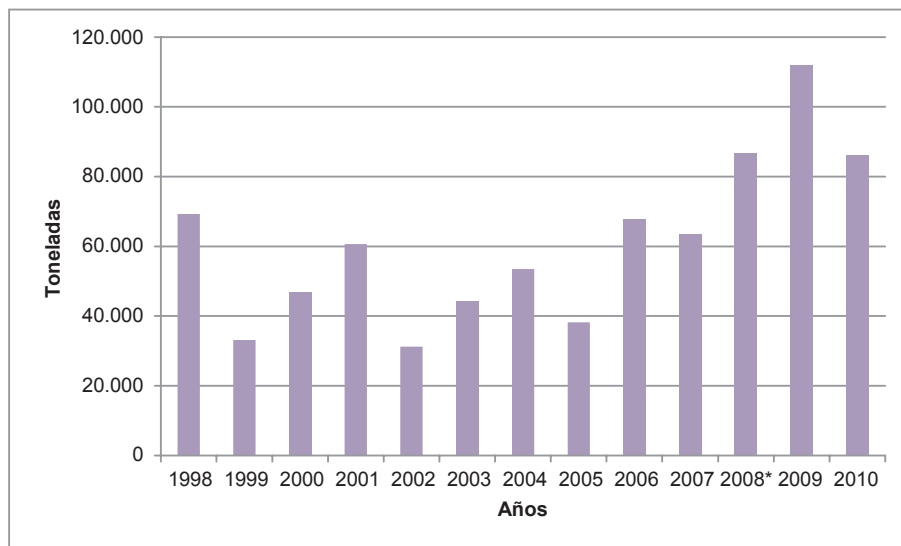


Figura 1.6. Evolución de la Producción Nacional de Feldespato Reportada Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN, 2010)

1.1.2.3 Localización de materias primas

Para el presente proyecto las materias primas provienen de las provincias de Cotopaxi y Pastaza. La provincia de Cotopaxi, cuyo nombre se debe al volcán, con una extensión de 6.072 km², su capital es la ciudad de Latacunga. De los cantones Pujilí y Sigchos provienen los minerales de arcilla; pertenecientes al cantón Pujilí se encuentran las parroquias de: cabecera cantonal Pujilí y las parroquias: Angamarca, La Victoria, Guangaje, Pilaló, Zumbahua y Tingo. (Lastovicka, 2009, p. 167).

La Victoria, conocida como la capital alfarera de la provincia, localizada a 10 kilómetros hacia el oeste de Latacunga y a 5 kilómetros hacia el norte de Pujilí, la actividad alfarera se realiza de manera tradicional mediante artesanos alfareros organizados, en el barrio “El Tejar”, donde se producen maceteros, tejas esmaltadas, moriscos, tejuelos, ladrillos rojos. El Cantón Sigchos, se encuentra dentro del Ramal de Sigchos, la textura del suelo es arenosa, esta característica se debe a que se deriva de materiales piroclásticos, con baja retención de

humedad y de baja meteorización, producto de la erosión en las vertientes altas del volcán Cotopaxi (Sjoman, 1992, p. 251).

La provincia de Pastaza, localizada en la región Amazónica del Ecuador. Se encuentra sobre una inmensa plataforma sedimentaria, desciende hacia la depresión del Amazonas. Tanto es así que el nombre de la misma se emplea para designar el nombre de la formación sedimentaria de arcillas y areniscas. Solo una pequeña porción en su extremo noroeste es montañosa, y pertenece a la cordillera Oriental. De allí que del cantón Puyo, provienen el caolín y las areniscas arcillosas de color gris y verde (Harris, Hutchiston, 2007, p. 231).

1.1.2.4 IMPORTACIONES DE MATERIAS A EMPLEARSE EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Los datos de importaciones (FOB) de Caolín obtenidos del Banco Central del Ecuador año 2012, se presentan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Importaciones ecuatorianas de Caolín por bloques

País	Toneladas Métricas	Miles USD FOB*
ALEMANIA	246,19	74,31
BÉLGICA	0,30	0,83
BRASIL	25,29	17,59
COLOMBIA	150,09	73,26
CHINA	285,00	74,07
ESTADOS UNIDOS	9 509,64	1 786,73
FRANCIA	102,00	25,66
MÉXICO	1,00	0,32
PERÚ	1 441,42	318,62
SUIZA	10,89	8,46
TOTAL	11 771,81	2 379,85

*(Banco Central del Ecuador, 2012)

Los datos FOB (Franco a bordo) proporcionan información sobre la venta realizada con cargo de flete, es decir quién realice la compra pague los gastos de

envío, se emplean con más frecuencia respecto a los CIF (Costo, Seguro y Flete), los cuales indican que el vendedor se encargue de pagar el envío de la mercadería, sea materia prima o producto. (Tonchia, 2008, p. 162).

Del país de donde se compra la mayor cantidad de Caolín para elaboración principal de productos cerámicos, es, Estados Unidos con una cantidad de 9 509,64 Toneladas Métricas a un costo miles USD 1 786,73, seguido de Perú con 1 441,42 Toneladas Métricas a miles USD 318,62. En contraste, los países de donde menos se compra el Caolín como materia prima son: Corea del Sur con miles USD 0,01 y España con miles USD 0,11. La razón principal de la preferencia adquisitiva es la distancia entre países, porque resulta preferible la compra de materias primas cuando existen proveedores dentro del mismo continente, así el costo del flete disminuye. (Murray, 2006, p. 2).

La Tabla 1.4., muestra los valores de importaciones ecuatorianas FOB de bentonitas. El país de donde se importan todo tipo de Bentonitas, es Perú con miles USD 1 386,77, seguido de Estados Unidos con miles USD 1 132,82. Al contrario, los países de donde menos se importan son Alemania con miles USD 11,14 y por último Bélgica con miles USD 4,51. El total de importaciones es de 16 621,93 Toneladas Métricas a USD 4 926,46.

Tabla 1.4. Importaciones ecuatorianas de Bentonitas por bloques

País	Toneladas Métricas	Miles USD FOB*
ALEMANIA	4,20	14,49
ARGENTINA	150,43	167,72
BÉLGICA	3,84	8,60
BRASIL	632,18	450,67
CANADÁ	11,97	6,87
COLOMBIA	569,84	140,75
CHINA	854,07	1 072,26
ESTADOS UNIDOS	1 132,82	383,70
MÉXICO	104,00	86,23
PERÚ	1 386,77	215,32
TOTAL	4 850,12	2 546,61

*(Banco Central del Ecuador, 2012)

1.1.2.5 EXPORTACIONES DE MATERIAS PRIMAS A EMPLEARSE EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

En la Tabla 1.5, se muestran los datos de las exportaciones ecuatorianas de caolín y bentonitas por bloques.

Tabla 1.5. Exportaciones ecuatorianas de caolín y bentonitas por bloques

Materia Prima	País	Toneladas Métricas	Miles USD FOB*
Caolín	PERU	120,00	9,07
Bentonita	EL SALVADOR	2,00	3,28
Bentonita	PERU	10,27	17,22
TOTAL		132,27	29,56

*(Banco Central del Ecuador, 2012)

El país que más ingresos genera al Ecuador por la exportación de Caolín es Estados Unidos con miles USD 1.337,79, seguido de Perú con USD 218,57. Por el contrario, los países a los cuales se exporta menos cantidad de Caolín son España con miles USD 0,07 y Corea del Sur con miles USD 0,01. De los datos obtenidos, se puede concluir que Ecuador trae más materias primas de lo que produce a nivel local. Lo cual implica que no existe todavía un equilibrio entre importaciones y exportaciones. Aparte que se debería tener en cuenta los aranceles si estos permitirían tanto importar como exportar con mayor facilidad, así aumentar la variedad de materias primas a escoger para elaboración de productos cerámicos de buena calidad.

1.2 DESARROLLO DE UNA PASTA CERÁMICA

La ciencia del desarrollo de una pasta cerámica se da de acuerdo al criterio mineralógico. Las materias primas clasificadas de acuerdo a la plasticidad se detallan así como los pigmentos, aglomerantes y análisis más usuales.

1.2.1 CONSTITUYENTES DE UNA PASTA CERÁMICA

Los constituyentes de una pasta cerámica son minerales arcillosos, feldespatos, arenas, caolines y carbonatos, los cuales se utilizan tal como se extraen de la mina cuando presentan altos porcentajes de pureza. La selección de materias primas depende de las propiedades a requerirse por la pieza cerámica terminada, como lo muestra la Figura 1.7. En teoría, si se trata de producir ladrillos y tejas, las materias primas deberán tener un alto contenido de arcilla (entre 70 y 80 %), además de sílice (20 a 30 %), con un escaso contenido de feldespatos (0-10 %).

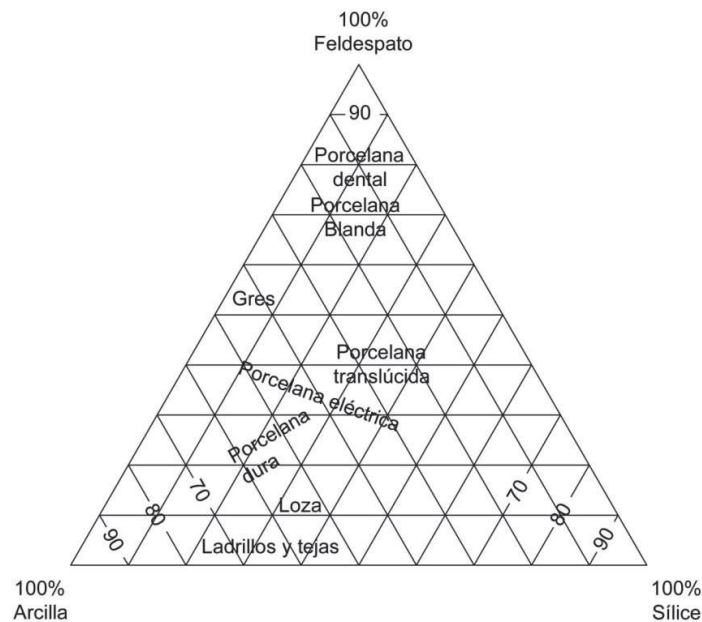
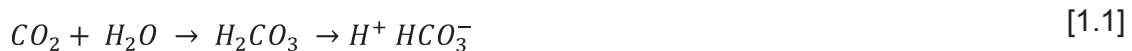


Figura 1.7. Diagrama triaxial Feldespato-Arcilla-Sílice para producción de diferentes productos comerciales
(Peterson, Peterson, 2003, p. 373)

En uso tanto industrial como artesanal, la arcilla extraída del yacimiento se almacena en patios o bodegas adyacentes a los equipos de procesamiento. Adicionales son los aglutinantes y lubricantes que se agregan a la mezcla tanto en seco como en húmedo. Para obtener pastas de modelaje, secado al aire (no necesitan del empleo de hornos) estas se constituyen de arcillas y su contenido de humedad está por 45-55 % de humedad. (Heimann, 2010, p. 48).

1.2.1.1 Materias primas plásticas

El caolín, ha sido el componente plástico por excelencia de la pasta cerámica. La etimología del nombre proviene del sitio Kao-Ling al Norte de China. Puede formarse mediante reacciones de intemperismo químico, se trata de reacciones entre rocas, el agua y componentes del aire en las cuales de manera general intervienen agua, oxígeno y dióxido de carbono. En el caso del caolín la reacción de intemperismo fundamental constituye la hidrólisis en la cual la reacción del agua con el dióxido de carbono da como producto el ácido carbónico: (Haldar, 2013, p. 173).

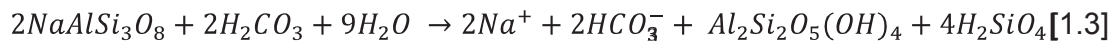


Que constituye el punto de partida para las reacciones hidrolíticas:

1) Hidrólisis de anortita:



2) Hidrólisis de albita:



3) Hidrólisis de ortoclasa:



Desde el punto de vista mineralógico, el nombre del mineral se conoce como caolinita de fórmula química $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ del grupo de las kanditas (caolinita, dickita, nacrita y halloysita); la estructura está conformada por dos bloques: capa tetraédrica (T) formada por tetraedros SiO_4 - y octaédrica (O) de tipo gibbsita o brucita que comparten aristas, formada la organización espacial es 1:1, dicho de otra manera TO. (Baltuille, et al, 2002, pp. 10,11). En la Figura 1.8 se muestra la estructura cristalina TO de la caolinita

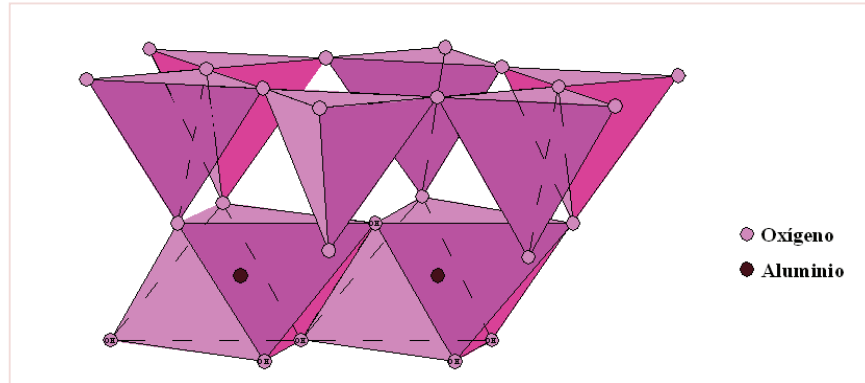


Figura 1.8. Estructura cristalina de la caolinita
(Buchanan, Park, 1997, p. 367)

Debido al contenido de OH^- en su estructura se denomina como filosilicato, este nombre viene etimológicamente del griego Phyllon=Hoja, por el hábito hojoso y una dirección de exfoliación dominante (1) esto a causa de las fuerzas que unen a estas unidades estructurales (TO) resultan más débiles las que existentes entre iones de una misma lámina. (Klein, Philpotts, 2012, pp.163-164). En la Figura 1.9 se muestra una vista superior de la estructura cristalina de la lámina tetraédrica de la caolinita.

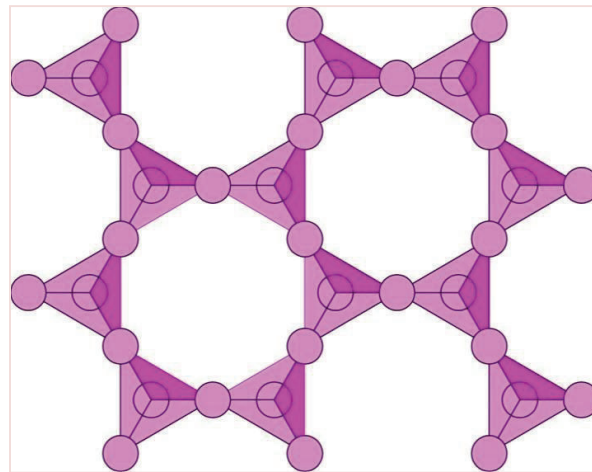
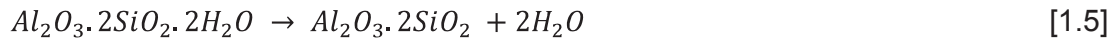


Figura 1.9. Lámina tetraédrica, vista superior de caolinita
(Douglas, Ho, 2007, p. 241)

Estas estructuras pierden plasticidad entre 450-550 °C para formar metacaolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). En tanto que cerca de los 1000 °C la metacaolinita da lugar a la

formación de espinela ($2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$), para dar paso a la formación de mullita primaria ($2(3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)$) mediante las reacciones: (Chakraborty, 2014, p. 315).



Los filosilicatos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Bilaminares (1:1) pueden ser dioctaédricas, estas arcillas corresponden al grupo de las Kanditas (caolinita, nacrita, dickita y halloysita) y trioctaédricas, se trata del grupo de las serpentinas (antigorita, crisolito, lizardita y bertierina). *Trilaminares (2:1)* de capas dioctaédricas son: pirofilita, esmectitas (montmorillonita, beidelita y nontronita), vermiculitas, Illitas y micas (muscovita y paragonita) y de capas trioctaédricas: talco, esmectitas (saponita, hectorita), vermiculitas, micas (biotita, flogopita y lepidolita). *T:O:T:O* son las cloritas: flogopita, clinocloro, (Fe, Mg, Al)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈ (Fórmula química de la Clorita). *Fibrosas* capa dioctaédrica: paligorskita y capa trioctaédrica: sepiolita. (Price, Ross, 2007, p. 348).

Las arcillas poseen características fisicoquímicas que las hacen importantes para aplicaciones industriales y son: su morfología laminar (estructura de filosilicatos), de extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm), las sustituciones isomórficas que provocan la aparición de carga en las láminas, además de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Producto de estas características, poseen un valor elevado de área superficial, además de una gran cantidad de superficie activa, de enlaces no saturados, de allí su plasticidad en mezclas arcilla-agua, con poca cantidad de humedad y en algunos casos tienen la capacidad de hinchamiento, con el desarrollo de las propiedades reológicas en suspensiones de tipo acuoso. (Bergaya, Lagaly, 2013, p. 340).

La capacidad de intercambio iónico se produce por la carga interlaminar, esto a causa de la presencia iones débilmente ligados y con estado variable de hidratación, lo que hace que en una solución acuosa, se intercambien los iones de la solución con los de la arcilla. Otra propiedad de las arcillas es la tixotropía, es la pérdida de la resistencia de un coloide al amasarlo y posterior recuperación con el tiempo; para que una arcilla muestre comportamiento tixotrópico, debe tener la cantidad de humedad cercana al límite líquido. (Srivastava, 2009, p. 99; Balmfort, Provenzale, 2008, p. 542).

1.2.1.2 Materias primas no plásticas

Las materias primas no plásticas, llamadas también anti plásticos o magros, se emplean para reducir la plasticidad de la pasta cerámica, facilitar el secado, reducir la contracción en crudo o al secado y aumentar la porosidad; estas materias primas son: el cuarzo (sílice), los feldespatos, carbonato de calcio y las micas. (Jiménez, 2005, p. 13).

El cuarzo o sílice, de fórmula química SiO_2 , posee una fractura concoidea (en concha), dureza 7 en la escala de Mohs (mineral duro), incoloro o blanco grisáceo, posee la característica de ser un material piezoeléctrico, es decir presenta electricidad cuando su cristal es presionado sobre un eje; tiene cristalización perfecta su sistema cristalográfico es hexagonal o romboédrico, entre sus variedades cristalinas se encuentran la amatista, el cristal de roca, el ágata, el jaspe y el ónice. El mineral de sílice, se presenta también en forma de cadenas simples o dobles conformadas por tetraedros unidos lateralmente que se conocen como inosilicatos; predominantemente se encuentran en rocas ígneas y los principales inosilicatos son piroxenos y anfíboles. (Schuman, 2009, p. 20).

Los feldespatos se definen desde el punto de vista mineralógico como aluminosilicatos que se constituyen por una red tridimensional en la cual parte del silicio se encuentra sustituido por aluminio, dando lugar a una deficiencia de carga

que se compensa con la presencia de iones calcio, sodio, potasio y ocasionalmente con estroncio o bario; químicamente se dividen en tres grupos: Potásicos, a este grupo pertenecen la ortoclasa y la microclina. La ortoclasa en cambio es un feldespato potásico, monoclinico, de coloración rosada, blanco o gris y cuya ruptura es en ángulo recto; el siguiente grupo de feldespatos es calcosódicos, a este grupo pertenecen la albita y la anortita, que son plagioclasas, que son una serie isomorfa, de ruptura oblicua; el último grupo de feldespatos es bóricos, compuesto por hailofana y celesiana. Los feldespatos conforman el 60 % de la corteza, principalmente las plagioclasas en un 45 %, ya que son el principal componente de las rocas ígneas. Son materiales duros, en la escala de Mohs la dureza es de 6. (Stober, Bucher, 2013, p. 28).

Carbonato de Calcio (CaCO_3), conocido también como Calcita, las estructuras cristalinas básicas de este mineral son calcita y aragonito. Su tamaño de partícula es variado, va desde 1 hasta 50 micras; otra de las propiedades de la calcita, es aportar a la blancura a la pasta cerámica en las que requiere cocción, su función cambia a la de un enérgico fundente, reduciendo de manera considerable la temperatura de cocción. (Flügel, 2010, p. 94).

Las micas son minerales pertenecientes a un numeroso grupo de silicatos de hierro, alúmina, calcio, magnesio y minerales alcalinos caracterizados por su fácil exfoliación en delgadas láminas flexibles, elásticas y muy brillantes, sin embargo no son expandibles. No poseen conductividad eléctrica debido a que son minerales iónicos, de entre ellas se destacan: la biotita, es una mica color negro, de raya blanca y laminado débil, también la muscovita, es una mica blanca bien cementada de exfoliación perfecta y su sistema de cristalización es mono cíclico. (Caselles, et al., 2015, pp. 392, 393).

1.2.1.3 Aglomerantes cerámicos

Los aglomerantes llamados también aglutinantes, sirven para dar soporte a la mezcla cerámica, sea barbotina o barro, los hay de origen inorgánico, orgánico,

pueden ser termoplásticos, termo endurecibles y solubles en el agua. Los aglomerantes termoplásticos son más utilizados en inyección, se caracterizan porque su comportamiento reversible hace que se endurezcan al enfriarse, la diferencia entre estos aglomerantes, es la temperatura a la que se usan, por ejemplo, las ceras de abeja se pueden usar por debajo de los 100 °C en tanto que cuando se trabaja con polietileno y polipropileno como aglomerantes la temperatura de trabajo sobrepasa los 150 °C. (Primo, 1995, p. 898).

Los aglomerantes de tipo termoendurecibles, en cambio reticulan con la temperatura, dada la naturaleza irreversible de este tipo de aglomerante, no es posible el reciclado de la mezcla cerámica; por último, los aglomerantes solubles en agua, son derivados de la celulosa, que gelifican a temperaturas moderadas, esto es cerca de los 60 °C. (Rahaman, 2006, p. 352).

En sistemas ligantes, se suelen usar de tres a cuatro componentes, uno de ellos es el polímero soporte aglomerante, el otro las ceras y los aceites, el primero determina la viscosidad de la masa plástica, mientras que el segundo facilita la cohesión de partículas, además de agentes humectantes para acrecentar la moldeabilidad. (Terpstra, Pex, Vries, 2012, p. 198).

De origen mineral los aglutinantes más utilizados son yeso tanto como cal: El yeso en estado natural, viene como un sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), para la producción del aglomerante se somete a tratamiento térmico y así obtener el yeso hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), este producto es un aglomerante hidráulico. (Sharpe, A., 1996, p. 283).

La cal que se emplea como aglutinante en una pasta cerámica es la de tipo apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); esta se obtiene luego que la caliza ha sufrido un proceso de calcinación, lo cual origina como reacción el desprendimiento de anhídrido carbónico y formación de cal viva (CaO), esta debe ser capaz de combinarse con el agua, entonces una vez hidratada la cal ha pasado de óxido a hidróxido. (Verma, Khanna, Kapila, 2010, p. 98).

1.2.1.4 Colorantes cerámicos

Los pigmentos cerámicos pueden clasificarse de acuerdo al color, no tienen un punto de vista científico químico, sin embargo pueden ayudar en un análisis visual, se clasifican: Negros, coloreados, dentro de los pigmentos coloreados se tiene: sintéticos y naturales (hematita, ocre, ámbar); los pigmentos sintéticos son: óxidos metálicos (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , etc), óxidos metálicos mixtos (espinelas, rutilos, circones, etc.), compuestos no óxidos (CdSSe) y otros (metales, ultramarinos y coloides metálicos). También existen blancos, estos se clasifican en: opacos (TiO_2 , circón, óxido de estaño, ZnO y ZnS) y no opacos (BaCO_3 , CaCO_3 , caolines y silicatos). Para la industria de ladrillos y tejas, el componente a requerirse en la materia prima es el hierro, en forma de óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos. (Monrós, Badenes, García y Tena, 2003, p. 18).

1.2.1.5 Análisis más usuales para la evaluación de propiedades en pastas cerámicas

Las propiedades más frecuentes a investigarse en pastas cerámicas son: plasticidad, capacidad de absorción y cesión de agua; en el caso de productos para altas temperaturas se analizan: contracción al secado y a la quema, comportamiento al calor y color de quema. El análisis de límite plástico, resulta ser la cantidad de agua mínima, por debajo de la cual la pasta deja el comportamiento plástico para desmenuzarse o agrietarse; otra propiedad es el límite líquido, indica en qué cantidad de humedad la mezcla arcillosa se vuelve bastante plástica y pegajosa. La diferencia entre el límite líquido y plástico, resulta ser el límite de Atterberg. (Boch, Niepce, 2010, p. 118).

Según Pfefferkorn, la plasticidad se define por el grado de aplastamiento que tiene lugar una probeta cilíndrica con determinadas dimensiones y diferentes dosis de agua, mediante golpe de un pistón cuyo cabezal golpea a una determinada altura, de esta manera después del ensayo, se miden las dimensiones finales tanto como el contenido de humedad (W %) para obtener una curva que muestre la relación entre la deformación con W % y así determinar el

contenido de humedad necesario para formación de cuerpos cerámicos. (Acton, 2012, p. 60).

Capacidad de absorción y cesión de agua: esta propiedad está directamente relacionada con características de tipo textural tales como superficie específica y porosidad. La superficie específica se define como la suma entre el área de la superficie externa más el área de la superficie interna por unidad de masa y se expresa en $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$. La porosidad es una medida de la capacidad para almacenar fluidos que tienen los materiales, se determina en función de la densidad real y aparente. El empleo de métodos térmicos como son el Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Análisis Termogravimétrico (ATG), permite el estudio del comportamiento térmico en las materias primas. (Hutchison, 1996, p. 156; Gómez, Sierra, 2010, p. 207).

Los procesos en donde se da la contracción del material arcilloso son el secado y la cochura, se produce la disminución de volumen producto de la reducción en los espacios porosos intermedios. Junto a la evaporación de agua se da lugar este proceso, hasta que las partículas no pueden acercarse más entre sí, esta cantidad desprendida se conoce como agua de evaporación; luego de este proceso la arcilla pierde por completo su plasticidad. (Müller, Müller, 2009, p. 164).

1.3 EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESAMIENTO DE MINERALES ARCILLOSOS

La maquinaria requerida en general para la industria cerámica y procesamiento de minerales arcillosos para el presente proyecto se clasifica en los siguientes sectores: conminución (reducción de tamaño), mezclado y homogeneizado, conformado de piezas cerámicas, secado y cocción de piezas cerámicas, empaclado de productos. El número de operaciones unitarias básicas de forma general son cinco. En el presente subtema se presentan los equipos que cumplen con lo requerido para procesar materias primas no metálicas (minerales arcillosos), así como los modelos matemáticos que se aplicarían para su

respectivo dimensionamiento. También la maquinaria a requerirse para obtener productos cerámicos, incluso presentación final para venta al público (empacado).

1.3.1 DISMINUCIÓN DE TAMAÑO DE MINERALES ARCILLOSOS

Las materias primas arcillosas debido a su plasticidad y disposición laminar en estructura, son deleznales en agua a diferencia de materiales que se caracterizan por ser rocas que siempre requieren una disminución de tamaño en seco. En la naturaleza, no se encuentra material al 100 % arcilla razón por la cual, es necesario emplear maquinaria para efectos de reducción de tamaño. Las materias primas arcillosas en la mayoría de veces se extraen junto a materiales anti plásticos de tipo roca como son los feldespatos, virtud por la que su dimensionamiento se basa en la dureza de estos últimos. Se detallan las maquinarias para trituración primaria (chancadora de mandíbulas) como secundaria (trituradora de cono) de las materias primas mineralógicas. (Grassman, Sawistowski, 2013, p. 300).

1.3.1.1 Chancadora de mandíbulas para trituración primaria de materias primas arcillosas

La machacadora de mandíbulas, conocida también como trituradora o chancadora, es un equipo que se emplea en la trituración primaria posee alta capacidad y bajo coste.

El principio de funcionamiento es que la alimentación entra en contacto con las mandíbulas, de las cuales la una se encuentra fija y la otra móvil, de este acercamiento entre si se da el chancado; existen también máquinas que poseen una mandíbula excéntrica la cual se mueve de manera oscilante y favorece así que el material por gravedad baje durante las fases de separación entre sí. (King, 2012, p. 152). Un esquema con las partes constitutivas se presenta en la Figura 1.10:

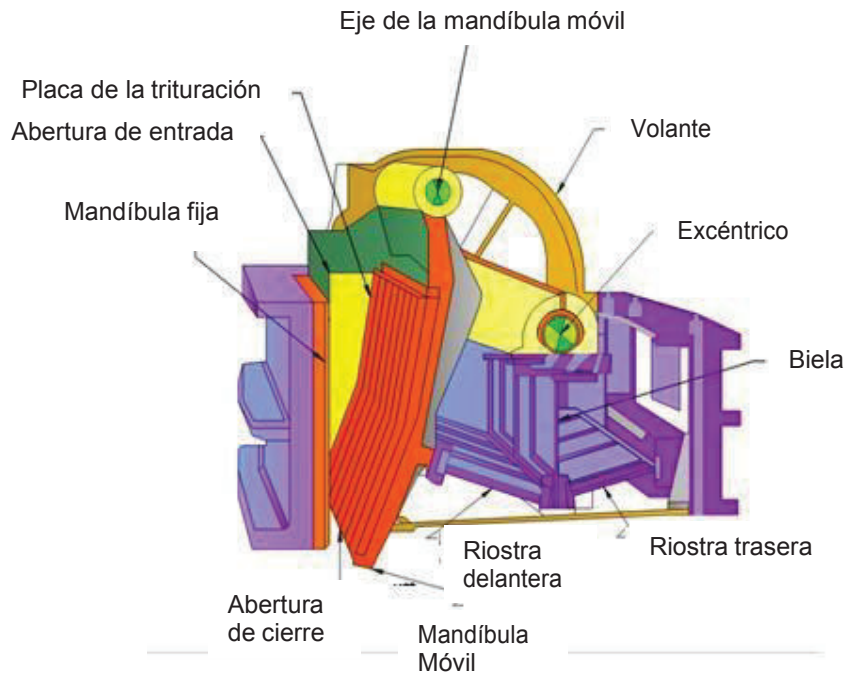


Figura 1.10. Esquema de una trituradora de mandíbulas
(Gavhane, 2009, p.2.7)

La cámara de machaqueo es de forma prismática, en la cual tanto la cara superior como la inferior se encuentran abiertas: por la primera ingresa el material y por la segunda sale el producto triturado. En los procesos de chancado, es necesario primero calcular el consumo de energía (potencia), la cual es función de la dureza y del tamaño del mineral a tratar, además de cómo estas características modifican el trabajo que realiza la chancadora para reducir de tamaño; Bond, postula la siguiente Ecuación para determinar la cantidad de energía necesaria en la conminución del mineral (Gupta, Yan, 2006, p. 67):

$$E_B = 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{P_{80}} - \frac{1}{F_{80}} \right) \quad [1.9]$$

Dónde:

E_B : energía específica de conminución (kWh.ton⁻¹).

W_i : Work Index o índice de trabajo (kWh.Ton⁻¹).

P_{80} : tamaño del 80 % pasante en el producto (μm).

F_{80} : tamaño del 80 % pasante en alimentación (μm)

El índice de trabajo (W_i), es un parámetro función del material a reducir de tamaño, en la Tabla 1.6, se muestran los valores de W_i para distintos minerales:

Tabla 1.6. Valores de W_i

MATERIAL	W_i kWh/Ton ⁻¹	MATERIAL	W_i kWh.Ton ⁻¹
Barita	6,86	Vidrio	3,39
Basalto	22,45	Mineral de Oro	16,31
Clinker de cemento	14,84	Granito	15,83
Arcilla	7,81	Mineral de Hierro	16,98
Carbón Mineral	12,51	Mineral de Plomo	12,54
Mineral de Cobre	14,44	Caliza	12,77
Dolomita	12,44	Mica	148,00
Esmeril	64,00	Lulita Petrolífera	19,91
Feldespato	12,84	Roca Fosfatada	11,14
Galena	10,68	Cuarzo	14,05

(Young, Taylor, Anderson, Choi, 2008, p. 79)

Otro parámetro a considerar es la capacidad de la chancadora, según el manual de equipos FL Smidth, se determina por la Ecuación [1.10] (Vaikuntam, Raja, Ramachandran, 2015, p. 20):

$$T = 0,6 \times \frac{A}{R} \frac{T_c}{h} \quad [1.10]$$

Dónde:

Tc: capacidad de la chancadora (Tc.h-1).

A: área de la abertura de la boca de la chancadora (pulg²)

R: grado de reducción

13.12 Chancadora de cono para trituración secundaria de minerales de arcilla

La chancadora de cono es un equipo destinado a la trituración secundaria. Es un tipo de trituradora giratoria, con la diferencia de que el ángulo cónico es más amplio, por lo que es capaz de generar productos más finos, es decir que el grado de reducción en la trituradora de cono frente al de la trituradora cónica es más alto. Consta de las siguientes partes principales: cuerpo de la trituradora: se encuentra bien sujeta a los tornillos de tensión. La transmisión: se realiza por

un par de engranajes cónicos, los cuales se encargan de transmitir el movimiento giratorio al eje principal, sobre ésta descansa una tabla dentada móvil que se encarga de triturar el material y un armazón que evita la pérdida del lubricante (Singer, 2013, p. 663).

Por último, el sistema de lubricación, que está compuesto por el reservorio de aceite, bomba de aceite, motor y tuberías que llevan el lubricante al cojinete del eje de transmisión para bañarlo. La estructura interna de la trituradora de cono se muestra en la Figura 1.11. El primer paso en el dimensionamiento de las chancadoras de cono es la determinación de la potencia requerida por el motor mediante la tercera ley de la conminución o Ecuación de bond (Pryor, 2012, p. 45).

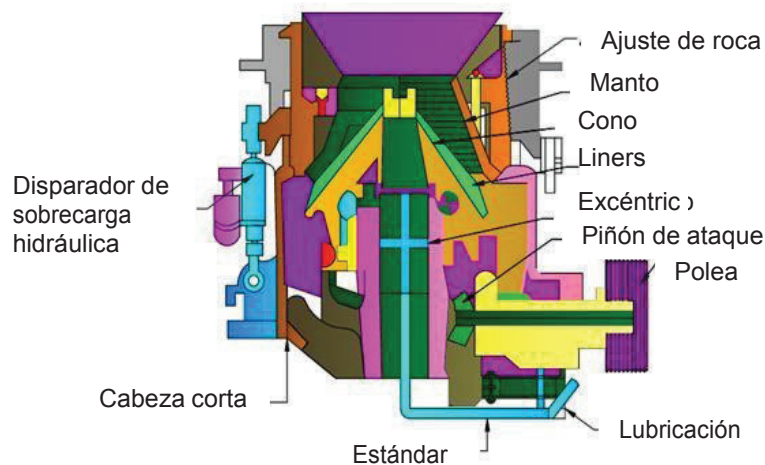


Figura 1.11. Estructura interna de una chancadora de cono
(Fuerstenau, Han, 2003, p.80-83)

La relación de la potencia del motor con el diámetro de la taza (cono interior), de acuerdo al manual de la empresa FL Smidth, viene dada por la Ecuación [1.11] (Subba, 2011, p. 45):

$$Diam = 0,36 Hp^{0,33} \quad [1.11]$$

Otra relación presenta la siguiente Ecuación:

$$Diam = 1,1 Hp^{0,25} \quad [1.12]$$

Unos datos orientativos sobre la relación entre, diámetro de la taza, potencia del motor, velocidad del motor y peso, se muestran en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Características de chancadoras tipo giratorio

CHANCADORA diámetro de la taza	MOTOR Hp	RPM	PESO libras
2	20 a 25	700	10000
3	50 a 60	580	21000
4	75 a 100	485	35000
4,5	125 a 150	485	45000
5,5	150 a 200	485	85000
7	250 a 300	435	130000

(Woods, 2007, p. 296)

1.3.2 MEZCLADO Y HOMOGENEIZADO DE MATERIAS PRIMAS

Con la finalidad de obtener buenos resultados durante la quema o sinterizado los materiales requieren de homogeneizado. Esto se realiza por medios mecánicos. Las alternativas pueden ser: rotación en tambor, en un recipiente de cono doble, agitación en un mezclador de tornillo, por último en una mezcladora de paletas. Los equipos empleados para amasado son: mezcladora de dos árboles con paletas, mezcladora análoga, mezcladora de artesa giratoria, amasadora de arcilla de árbol único, amasadora de doble árbol con alcachofa. Para el presente proyecto se realiza la descripción tanto como modelado de la mezcladora de paletas (Hjortso, Wolenski, 2010, p. 458).

1.3.2.1 Mezcladora de paletas para uniformidad de mezclas cerámicas

Las mezcladoras de paletas, llamadas también de brazos, son las más empleadas en la industria cerámica debido a que dan buen resultado cuando se trabaja con

pastas plásticas, son las más antiguas conocidas entre las mezcladoras. Consta de un eje al cual están pegadas una o varias paletas de forma perpendicular al eje, que gira de forma axial dentro del recipiente; así, el material que se mezcla es empujado o arrastrado dentro del recipiente siguiendo una trayectoria de forma circular. Como lo muestra la Figura 1.12 (Surendranathan, 2015, p. 396).

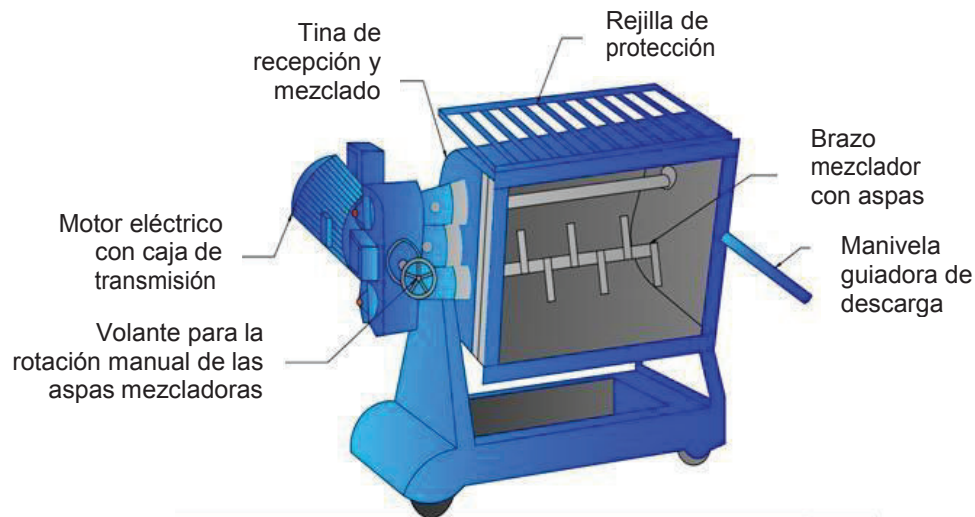


Figura 1.12. Esquema de una mezcladora de paletas
(Paul, Atiemo, Kresta, 2015, p. 943)

El material que se encuentra en contacto con las paletas, es empujado a mayor velocidad que cuando está en contacto con el eje, esto influye en la relación existente entre las láminas paralelas a las mismas. El agitador suele trabajar a velocidades bajas entre 20-150 RPM, la longitud del brazo o paleta de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro de la parte en el tanque, el diámetro varía $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{8}$ de dicha longitud (Dobre, Sánchez, 2007, p. 194).

Las dimensiones a tener en cuenta en el diseño de una mezcladora de paletas son: el cuerpo de la mezcladora (carcasa), el eje y paletas. El volumen de trabajo, es función de la densidad del material a tratar y el flujo másico circulante, como lo indica la Ecuación [1.13] (Nienow, Edwards, Harnby, 1997, p. 147):

$$Q_V = \frac{Q_M}{\rho_{MEZCLA}} \quad [1.13]$$

Dónde:

- Q_M : flujo másico ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$).
 Q_V : caudal o flujo volumétrico ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$).
 ρ_{MEZCLA} : densidad de mezcla ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

El diámetro mínimo de las paletas, se determina mediante la Ecuación [1.14] (Bergada, 2015, pp.219-224):

$$Q_V = 3600 \times \frac{\pi \times D_{MIN}^2}{4} \times s \times \psi \times n \times c_H \quad [1.14]$$

Dónde:

- D_{MIN} : diámetro mínimo de la paleta (m).
 S : cabeza (m).
 ψ : factor de alimentación.
 n : velocidad de rotación (s^{-1}).
 c_H : factor de inclinación, para la mezcladora de paletas horizontal, el factor es igual a 1.

La velocidad axial del material circulante es un parámetro que permite determinar la longitud de la mezcladora, y la real superficie del flujo de material. Se calcula mediante la Ecuación [1.15] (Meriam, Kraige, 1998, p. 258):

$$v_A = k_V \times k_P \times v_P \times \tan \alpha \quad [1.15]$$

Dónde:

- v_A : velocidad axial de flujo ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).
 k_V : factor de retorno en la mezcla.
 k_P : factor de reducción en la hélice.
 v_P : velocidad externa del punto de la paleta en el radio externo ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).
 α : ángulo de la cabeza.

La velocidad externa (v_P), se determina mediante la Ecuación [1.16] (King, 2013, pp. 153,154):

$$v_P = \pi \times D_{MIN} \times n \quad [1.16]$$

La longitud de trabajo para una mezcladora de paletas se determina con la Ecuación [1.17] (Gerling, 2002, p. 179):

$$L_W = v_A \times t_R \quad [1.17]$$

Para el número total de set de paletas se emplea la Ecuación [1.18] (Cheremisinoff, 2000, p. 440):

$$P_N = \frac{L_W}{w} \quad [1.18]$$

Dónde:

P_N : número total de set de paletas.

L_W : longitud de trabajo (m).

w : ancho de la paleta (m).

Por último se determina el diámetro real de trabajo, mediante las Ecuaciones [1.19], [1.20] y [1.21] (de las Heras, 2011, p. 132):

$$S_R = \frac{Q_V}{3600 \times v_A} \quad [1.19]$$

Dónde:

Q_V : caudal ($m^3 \cdot h^{-1}$).

S_R : superficie real transversal (m^2).

V_A : velocidad de flujo axial ($m \cdot s^{-1}$).

$$S_{RF} = \frac{S_R}{k_F} \quad [1.20]$$

Dónde:

S_{RF} : superficie real considerando el espacio de llenado (m^2).

S_R : superficie real transversal (m^2).

k_F : factor de llenado.

$$D_R = 2 \times \sqrt{\frac{S_{RF}}{\pi}} \quad [1.21]$$

1.3.3 CONFORMADO DE PIEZAS CERÁMICAS

La operación unitaria posterior al amasado consiste en el moldeo o conformado. Se puede realizar por colado caso de las barbotinas, con el uso de moldeo a base de yeso, por prensado, hasta por extrusión. La ventaja del prensado en seco es que se logra menor contracción y mayor producción. Lo último en la tecnología de prensado consiste en el hidrostático, así como moldeo por inyección. A continuación se presenta la información clave sobre máquina extrusora que se emplea en una industria cerámica. (Lenoe, Katz, Burke, 2013, p. 148).

1.3.3.1 Extrusora para formar cuerpos cerámicos

La extrusora es un equipo que se emplea para dar forma a un material, la extrusión es un proceso de tipo industrial que permite obtener barras en diferentes formas, generalmente complejas; la forma final dependerá de la galletera o boquilla que se disponga a la salida de la misma (Turner, 2004, p. 66).

El principio de funcionamiento de la extrusora, consiste en un tornillo sin fin metálico, conectado a un reductor de velocidad, este a la vez está conectado a un motor eléctrico, que está dentro de un cilindro metálico, cubierto con una camisa que tiene instaladas varias resistencias eléctricas. En un extremo del tornillo, se encuentra la tolva de alimentación, hacia la punta final del tornillo, se dispone la salida del material conformado (Giles, Wagner, Mount, 2005, p. 314).

Un tornillo o husillo, tiene tres zonas: zona de alimentación, zona de compresión y zona de dosificación; hacia la zona de alimentación, el núcleo del tornillo es cilíndrico, mientras que en la zona de compresión, el núcleo del tornillo es cónico, esto con la finalidad de producir la compresión y cizallamiento del material,

finalmente para la zona de dosificación, el núcleo del tornillo es también cilíndrico. (Heim, Potente, 2008, p. 182).

En la Figura 1.13 se muestra una extrusora de un solo tornillo impulsor.

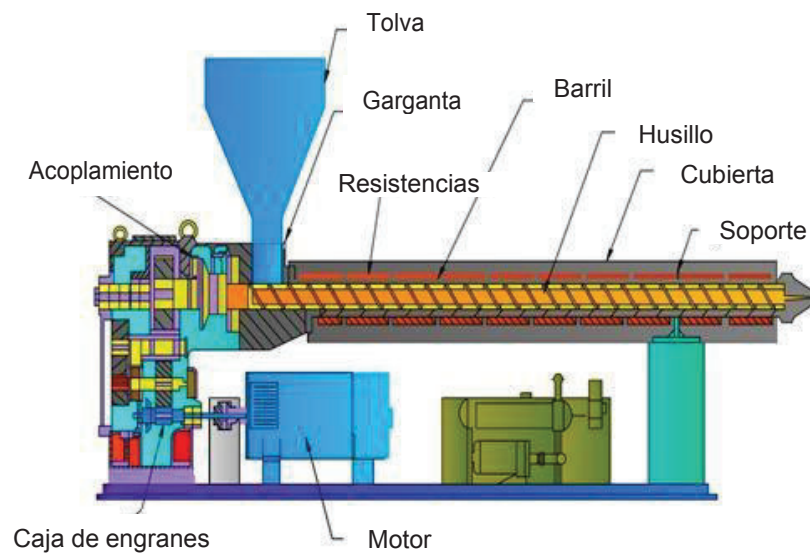


Figura 1.13. Vista lateral derecha de una extrusora
(Pohorecki, et al, 2010, p. 134)

Para el diseño de una extrusora de pastas arcillosas, las cuales se consideran plásticos de Binham, es sencillo, puesto que existen parámetros de dimensionamiento tales como: relación diámetro del eje/longitud del eje: 8,5; relación diámetro de la hélice/diámetro del eje en la zona de alimentación: 2,3; relación diámetro de la hélice/diámetro del eje en las zonas de compresión y dosificación = 2,05; relación paso de las hélices/diámetro del eje: 1,4; se trabaja con un ángulo de la hélice en 11° y con una separación entre la camisa y la hélice de 0,33 mm. La potencia del motor es función del torque producido por el espiral, este a su vez es función del esfuerzo cortante necesario para hacer fluir el material, el cual es función de la velocidad tangencial, se calcula mediante la Ecuación [1.22] (Rolle, 2006, p.101):

$$P = -\Omega_{\theta} \frac{3\mu k \Omega_{\theta}}{k - \frac{1}{k}} + \tau_0 \frac{4n\pi \frac{R^2}{2} R r_{eje}}{\cos\theta} r_{hélice} \quad [1.22]$$

Dónde:

Ω_{θ} : velocidad de giro de la hélice (s^{-1}).

μ : viscosidad = 100000 (Pa-s).

k : constante = 0,99.

τ_0 : esfuerzo cortante inicial = 63000 (Pa).

θ : ángulo de la hélice = $11^{\circ} = 0,19$ (rad).

R : radio interno de la camisa (m).

r_{eje} : radio de eje (m).

$r_{hélice}$: radio de hélice (m).

n : número de espirales.

1.3.4 SECADO Y COCCIÓN DE PIEZAS CERÁMICAS

Posterior conformado de las piezas cerámicas, las mismas quedan con un remanente de humedad, he necesaria aquí la operación de secado, puede realizarse al ambiente o en un equipo cuya temperatura no sobrepase los 100°C . Durante esta operación se controla la velocidad para evitar fallas por contracción. Posterior al secado, se realiza la operación de quema, cocción o sinterizado usualmente a $900-1400^{\circ}\text{C}$. La temperatura de sinterizado, dependerá de la composición presente en las materias primas así como las propiedades requeridas en el producto a obtenerse. (Callister, 2007, pp. 443, 444). Una breve descripción sobre el equipamiento para la operación de secado y cocción se detalla.

1.3.4.1 Hornos cerámicos

El secado de una pieza cerámica se produce en dos etapas: en la primera, se produce la evaporación del agua libre que contenía la pieza, a velocidad constante, hasta que la presión de vapor de equilibrio es igual a la presión atmosférica, esta evaporación se da en la superficie de la pieza y es en esta fase en donde pueden aparecer los velos de secado. En la segunda etapa de secado,

se evapora el agua químicamente ligada a la pieza; esta evaporación se da dentro de los capilares de la misma. La etapa de cocción, es en la cual se dan transformaciones físico-químicas de la pasta arcillosa, esto debido al aporte de calor. Se produce la desaparición de las especies minerales existentes en la pasta cerámica, con formación de otras especies nuevas o de fases amorfas (Morales, 2005, pp. 278,279).

La Figura 1.14, presenta el esquema de un horno mufla con sus respectivas partes.

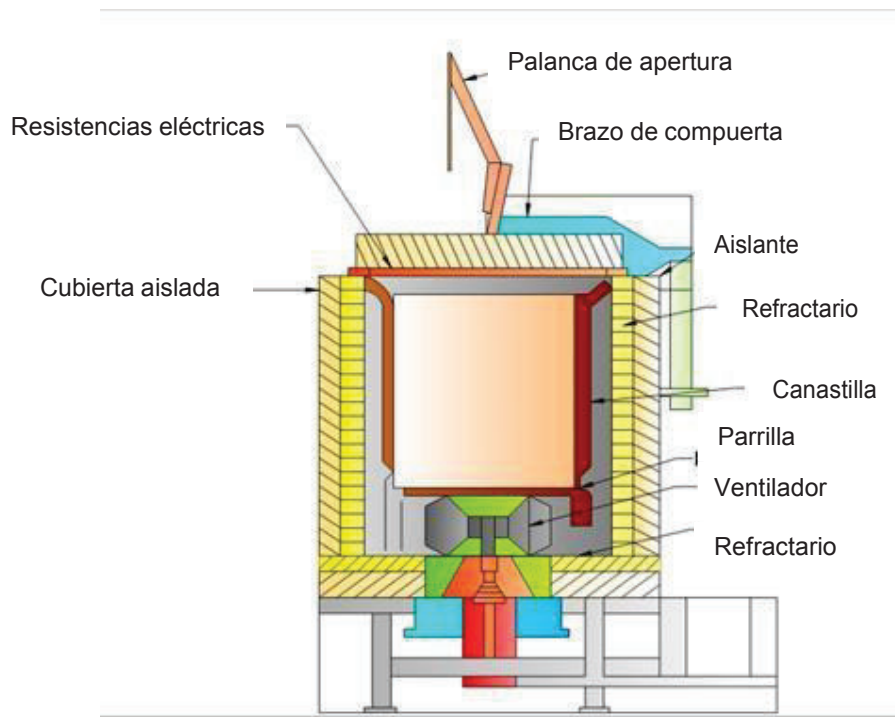


Figura 1.14. Horno mufla para quema de ladrillos.
(Shanmugam, 2000, p. 152)

La energía requerida para quemar una unidad de masa de ladrillo se determina de la siguiente manera: Calor necesario para elevar la temperatura desde la temperatura ambiente (T^∞), hasta la temperatura de ebullición a 1 atm, esto es 100 °C (Rolle, 2015, p. 152):

$$Q_1 = m_{H_2O} \times C_{p_{H_2O}} \times \Delta T \quad [1.23]$$

Dónde:

Q_1 : calor para elevar la temperatura del agua desde temperatura ambiente, hasta temperatura de evaporación ($\text{kJ.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

$m_{\text{H}_2\text{O}}$: masa de agua ($\text{kg.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

$C_{p\text{H}_2\text{O}}$: capacidad calorífica del agua ($\text{kJ.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$).

ΔT : gradiente de temperaturas (°C).

Calor necesario para convertir el líquido saturado en vapor saturado (calor latente, λ), a las mismas condiciones de presión y temperatura (Kamalesh, 2014, p. 834):

$$Q_2 = m_{\text{H}_2\text{O}} \times \lambda \quad [1.24]$$

Dónde:

Q_2 : calor para evaporar el agua ($\text{kJ.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

$m_{\text{H}_2\text{O}}$: masa de agua ($\text{kg.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

λ : calor latente de evaporación (kJ.kg).

Calor requerido para incrementar la temperatura del ladrillo, desde la temperatura ambiente (T^∞), hasta la temperatura de sinterización (Ghasem, Henda, 2014, p. 271):

$$Q_3 = m \times C_p \times \Delta T \quad [1.25]$$

Dónde:

Q_3 : calor para incrementar la temperatura de ladrillo ($\text{kJ.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

m : masa de mezcla arcillosa ($\text{kg.kg}_{\text{cocido}}^{-1}$).

C_p : capacidad calorífica de la masa de ladrillo ($\text{kJ.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$).

ΔT : gradiente de temperaturas (°C).

El calor necesario para quemar 1 kg de ladrillo, será la suma de estos tres calores. Las pérdidas en las paredes se determinan de la siguiente manera (Incropera, De Witt, 1999, p. 141):

$$q = \frac{\Delta T}{R_t} \quad [1.26]$$

Dónde:

q : potencia que necesitarán disipar las potencias eléctricas para obtener la temperatura deseada (W).

ΔT : gradiente de temperaturas (°C).

R_t : resistencia térmica (°C).

Con estos datos y el volumen total de piezas a quemar, se dimensionan tanto un horno de secado como un horno de quema.

1.3.5 EMPACADO DE PRODUCTOS

Los productos obtenidos del procesamiento de materias primas, manufactura son empacados tanto de forma manual, automática y semi automática. Las máquinas de empacado recogen y realizan el embalaje para obtener paquetes de formas variadas en función del producto, es decir existe una tecnología de empacado diferente para la naturaleza de cada insumo obtenido. (Escudero, 2014, p. 175). Un breve análisis de la empacadora horizontal pillow-pack, se presenta.

1.3.5.1 Empacadora horizontal Flow Pack para pastas de moldeo (cerámica fría)

La empacadora tipo flow pack tiene este nombre debido a que en primer lugar se forma un tubo del material empacador flexible, luego pasa hacia una mordaza que delimitará el principio y el final del paquete. (Board, 2010, p. 140).

El principio de funcionamiento es el siguiente: desde un eje porta bobina el material flexible que puede ser polipropileno (en caso de productos cerámicos), o

un material complejo pasa a través de un túnel conformador y se suelda mediante unas ruedas de sellado, a la vez que el producto a empacar viene empujado por unas paletas distanciadas hasta alcanzar el tubo de plástico que se ha formado. Siendo las paletas coordinadas con el cierre de una mordaza giratoria puesta longitudinalmente respecto al avance del film, el producto queda envasado en un paquete delimitado al principio y al final por la acción de la mordaza y a largo, por la acción de las ruedas de sellado” (Paine, 2012, p. 160).

La Figura 1.15 se presenta las partes de una empacadora pillow pack.

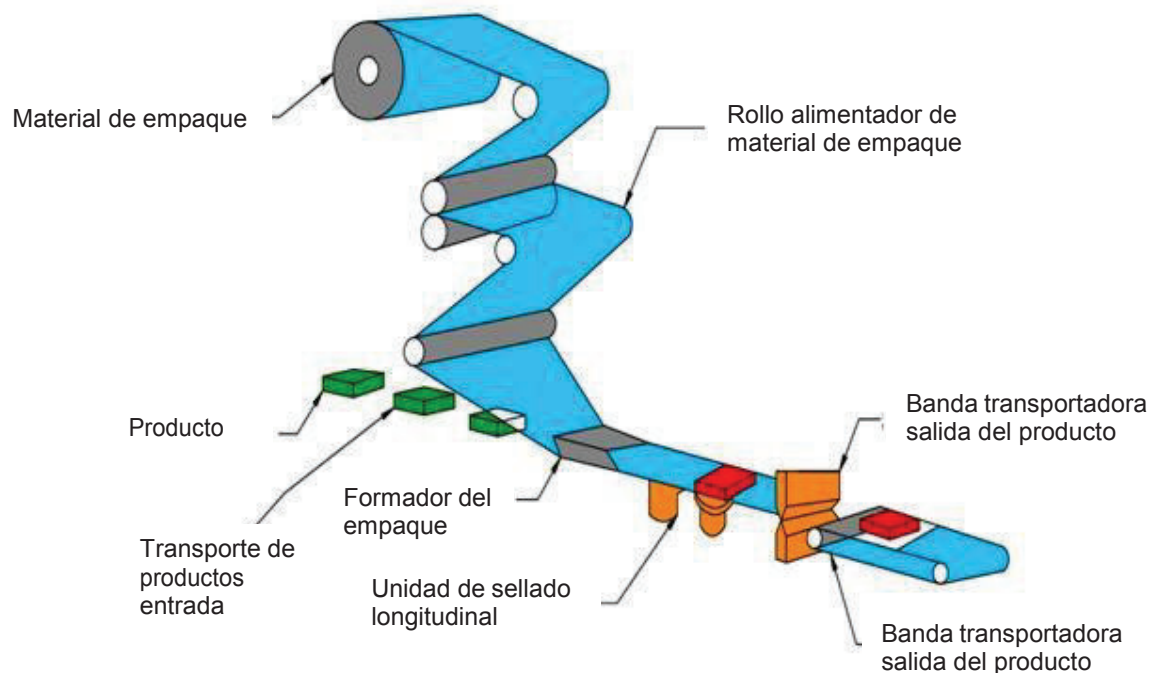


Figura 1.15. Partes de una empacadora horizontal.
(Soroka, 2008, p.92)

2. PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 2.1, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento experimental:

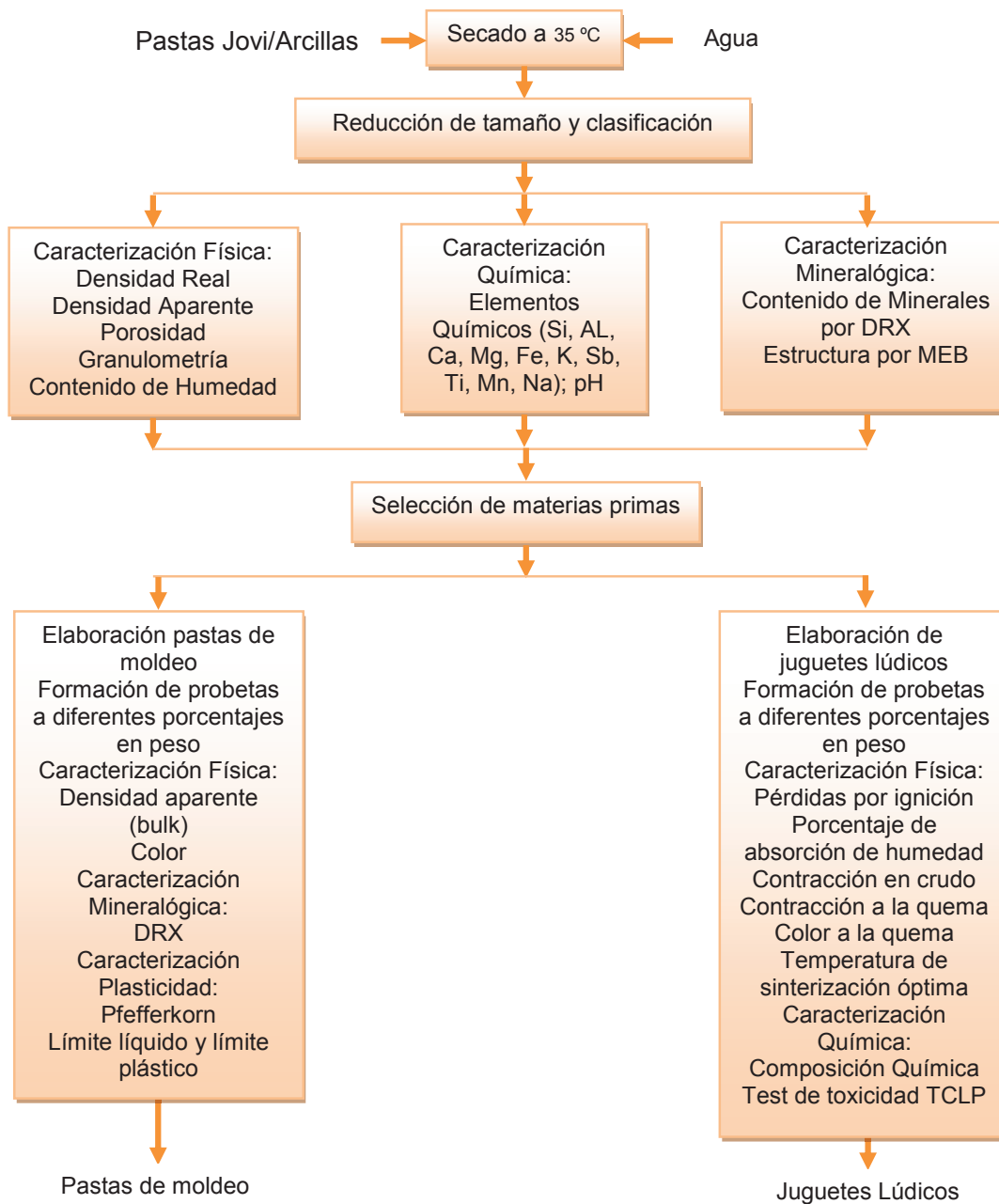


Figura 2.1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental

En el presente capítulo se describieron los materiales también métodos analíticos empleados durante toda la investigación. Se dividió en tres partes: la primera parte experimental, para determinación de la factibilidad técnica en producir pastas de moldeo tanto como juguetes lúdicos a partir de materiales arcillosos provenientes de las provincias ecuatorianas Cotopaxi y Pastaza. La segunda, definición del diagrama de flujo tanto como dimensionamiento de equipos, distribución en planta. La tercera, análisis de viabilidad económica, así como un análisis de sensibilidad para un período de 10 años que trabajaría la planta de producción.

Para medición de propiedades físicas, se determinaron la densidad real, densidad aparente, porosidad, caracterización granulométrica, contenido de humedad y color. Se empleó como método estadístico para validación de métodos la media (\pm el valor de la varianza), los ensayos indicados anteriormente, a excepción del contenido de humedad, se realizaron tres veces. Las propiedades químicas fueron el pH como el contenido de elementos químicos tales como Si, Al, Ca, Mg, K, Fe, Ti, Sb en el equipo de absorción atómica AAnalyst 300. La caracterización mineralógica se realizó en el Difractómetro de rayos X D8 Advance. Así como obtención de agregados orientados, posterior estudio de minerales: montmorillonita, caolinita y muscovita. Además se tomaron microfotografías en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB o SEM). Para obtención de pastas de moldeo comerciables y materias primas, se formularon entre siete y ocho mezclas con materiales arcillosos ecuatorianos adicionado aglutinante. Posterior, se realizó la medición de propiedades físicas, químicas, mineralógicas, así como las propiedades plásticas (el análisis del control de plasticidad para extrusión mediante ensayos de Pfefferkorn. Adicional se midieron los límites de Atterberg (líquido y plástico)).

Como referente análisis del efecto en la composición porcentual de materias primas en la obtención de juguetes lúdicos; en La Victoria, Pujilí, los artesanos suelen trabajar con una composición de 25 % Arcilla Roja Sigchos y 75 % mineral arcilloso “La Victoria” para la obtención de cerámica roja. Se propuso mezclar 10 y 25 % de Arcillas Roja Sigchos, Verde Puyo y Gris Puyo con 75 y 90 % mineral

arcilloso “La Victoria”. Se realizaron dos “quemados” a 850 °C y 1000 °C con las mezclas propuestas para elaboración de juguetes. Se caracterizaron propiedades físicas tales como: porcentaje pérdidas por ignición, porcentaje absorción de humedad, contracción en crudo, contracción a la quema, color a la quema, para así optimizar dos propiedades: mezcla en porcentaje relación de materias primas como la temperatura de sinterización. Así como medir químicas: composición química semicuantitativa mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) o (SEM) así como el análisis de residuos tóxicos mediante el test por lixiviación TCLP.

En segundo lugar, el diseño de equipos, tanto como evaluación de localización (para lo cual se evaluaron los factores de localización industrial) para una planta multiproducto que tuviese dos líneas de producción. La producción de pastas de moldeo pudo describirse a manera de un proceso el cual se componga de diez etapas, las cuales se dividieron en dos: para producción de aglutinante (blanqueado por lixiviación en carbonato de calcio, secado, reducción de tamaño y obtención de pastas frescas (almacenamiento, trituración primaria, molturación secundaria, clasificación por tamaño de partícula, mezclado-homogeneizado, conformado y empacado). En tanto que para la obtención de juguetes lúdicos, se pudo describir como un proceso compuesto por ocho etapas. En tercer lugar se realizó la evaluación de pre-factibilidad económica de la planta diseñada. La pre factibilidad del presente proyecto fue evaluada con los índices TIR, VAN o VPN, análisis de sensibilidad relacionado con criterios de investigación operativa, se realizó también un estudio del mercado en el Ecuador y los principales consumidores de los productos.

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICAMENTE PASTAS DE MOLDEO COMERCIALES Y MATERIALES ARCILLOSOS DE COTOPAXI Y PASTAZA

Se realizó la preparación de pastas comerciales y materias primas. Las propiedades físicas que se determinaron fueron, densidad real (método del

picnómetro), densidad aparente (método de la probeta), porosidad (relación entre densidad real y aparente, método matemático), caracterización granulométrica (dos metodologías: para las pastas comerciales se realizó tamizado vía húmeda, en tanto que para las materias primas se llevó a cabo análisis granulométrico en seco, con deslamado previo), contenido de humedad y color (identificación del color con el uso de la Carta de Munsell). En cuanto a propiedades químicas se midieron el contenido de elementos químicos Si, Al, Ca, Mg, K, Fe, Ti y Sb (preparación de muestras por digestión ácida, posterior lectura en el equipo de absorción Atómica A Analyst) así como pH (metodología del potenciómetro). Por último en lo referente a mineralogía se determinó el contenido de minerales por análisis de polvos tanto como obtención de agregados orientados, lectura y cuantificación de minerales por difracción de Rayos X. Además de se obtuvieron micrografías de las pastas comerciales, así como de las materias primas en el Microscopio Electrónico de Barrido. Se detalla la metodología experimental realizada para obtener los resultados, posterior análisis de comportamiento y discusión. Validez y fiabilidad: los ensayos realizados en el presente proyecto fueron confiables ya que cada método ha sido validado en investigaciones anteriores.

2.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PASTAS DE MOLDEO COMERCIALES Y MUESTRAS ARCILLOSAS DE COTOPAXI Y PASTAZA

Preparación de pastas comerciales y materias primas (Moncayo y Torres, 2007, pp. 32, 33, 37, 38):

Analitos

- Pastas de moldeo marca Jovi, Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso “La Victoria”, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Materiales

- Divisor de rifles tipo Jones

Equipos

- Estufa MEMMERT
- Trituradora primaria de mandíbulas, fabricación nacional, 223 W de potencia, 363 V, 6 cm de apertura; 12x27 cm.
- Chancadora secundaria de mandíbulas marca Bico VD Braun (USA), 7 cm de apertura; 8x21 cm, 1492 W de potencia, 230 V y 180 kg/h en capacidad.
- Molino de rodillos fabricación nacional, 2,2 Kw; 220 V (50 g capacidad).
- Tamiz vibratorio de fabricación nacional (100 kg/h de capacidad).

Procedimiento

1. Secado por 24 horas a 35 °C.
2. Reducción de tamaño de 10 cm hasta 2,5 cm en trituradora de mandíbulas.
3. Reducción de tamaño de 2,5 cm a 1 cm por chancado secundario.
4. Reducción de tamaño hasta 2 mm mediante circuito cerrado de molienda y clasificación.
5. Homogeneizado y fraccionado por cuarteo hasta haber obtenido fracciones de 1 kg para los ensayos posteriores.

2.1.1.1 Densidad Real

Para la medición de la densidad real se empleó el método del picnómetro (Martínez, et al., 2006, pp. 56-57).

Analitos

- Pastas Jovi Blanca, Terracota, Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso La Victoria, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Materiales

- Agua destilada
- Toalla de papel.

Equipos

- Picnómetro aac de Gay Lussac 25 °C marca Boeco con tapón capilar de 25 mL de capacidad.
- Balanza analítica marca SARTORIUS modelo TE 124S, capacidad 120 g, de cuatro cifras decimales.

Procedimiento

1. Se midió la masa del picnómetro.
2. Se pesó aproximadamente 1 g de muestra que luego se agregó al picnómetro y se registró la masa del picnómetro con la muestra.
3. Se añadió agua destilada hasta llenar el picnómetro, se colocó el tapón capilar retirando el exceso de agua que emergió del tapón capilar con ayuda de una toalla de papel y se registró la masa del picnómetro con muestra y agua.
4. Se procedió al lavado del picnómetro con agua destilada y se secó por fuera, luego se agregó agua destilada hasta llenarlo, se colocó el tapón capilar, se eliminó el exceso de agua emergente del tapón capilar con ayuda de una toalla y se registró la masa del picnómetro con agua.

Con los datos obtenidos se calculó la densidad real mediante la Ecuación [2.1]

$$D_r = \frac{d_w W_s - W_a}{W_s - W_a - W_{sw} - W_w} \frac{g}{mL} \quad [2.1]$$

Dónde:

D_r : densidad real (g/mL).

d_w : densidad del agua a 4 °C (1,00 g/mL).

W_s : masa del picnómetro con la muestra (g).

W_a : masa del picnómetro vacío (g).

W_{sw} : masa del picnómetro con muestra y agua (g).

W_w : masa del picnómetro con agua (g).

Este ensayo se llevó a cabo tres veces, para validar los resultados a obtener, se obtuvo el promedio \pm la varianza producto de la desviación estándar del promedio.

2.1.1.1 Densidad Aparente

Para la medición de la densidad aparente se empleó el método de la probeta (Álvarez, et al, 2005, p. 30).

Analitos

- Pastas de moldeo Jovi Blanca y Terracota, Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso La Victoria, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Reactivo

- Metanol absoluto, (99 % Panreac, Grado Reactivo).

Equipos

- Probeta graduada de 50 mL capacidad.
- Balanza analítica marca SARTORIUS modelo TE 124S, capacidad, 120 g, de cuatro cifras decimales.

Procedimiento

1. Se lavó en metanol absoluto la probeta, llevó a secado por corriente de aire hasta obtener un peso constate y registró la masa de la probeta vacía.

2. Se colocó cada analito en la probeta hasta la marca de los 20 mL y registró la masa de la probeta con la muestra. El cálculo la densidad aparente mediante la Ecuación [2.2]:

$$D_a = \frac{W_{pr+m} - W_{pr}}{20 \text{ ml}} \frac{g}{\text{ml}} \quad [2.2]$$

Dónde:

D_a : densidad aparente (g/mL).

W_{pr+m} : masa de la probeta con la muestra (g).

W_{pr} : masa de la probeta vacía (g).

Cada ensayo se llevó a cabo por tres veces, para obtener resultados fiables y que el método sea repetible para otro proyecto de investigación (validación del método).

2.1.1.2 Porosidad

La porosidad se obtuvo como función de la densidad real (D_r) y densidad aparente (D_a) mediante la Ecuación [2.3] (Bengisu, 2001, p. 364):

$$n = 1 - \frac{D_a}{D_r} \times 100 \quad [2.3]$$

Dónde:

n : porosidad total (%).

D_a : densidad aparente (g/mL).

D_r : densidad real (g/mL).

2.1.1.3 Granulometría

Para determinar el d_{80} , coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura (estudio de textura) en las Pastas Jovi y materias primas, se realizaron ensayos granulométricos con deslamado previo de la siguiente manera (Cando, 2010, p. 52):

Analitos

Pasta Jovi Blanca

Pasta Jovi Terracota

Materiales

- Agua destilada
- Vaso 600 mL de capacidad.

Equipos

- Balanza analítica marca BOECO Germany, BBL54.
- Tamices estandarizados ASTM mallas número 100 (150 μm) hasta número 400 (38 μm).

Procedimiento

Se realizó análisis granulométrico tamizado por vía húmeda. Para pastas de moldeo Jovi provenientes de España.

1. Los analitos fueron preparados para el ensayo granulométrico vía húmeda de la siguiente manera: recortados en pedazos de 1 cm de espesor para formar una malla y así muestrear las fracciones por números aleatorios, de los cuales se pesó alrededor de 300 g de muestra húmeda, para posterior dispersado en agua destilada. (Casal y Mateu, 2003, p. 5).

2. Entonces se realizó el deslamado por las mallas número 100 (150 μm) y 400 (38 μm) la primera como soporte de la segunda, con la finalidad de retirar las fracciones finas y realizar el ensayo granulométrico a las fracciones gruesas de cada pasta.
3. Se procedió a pasar las muestras dispersadas en agua destilada por la malla número 16 (1180 μm) hasta la número 400 (38 μm), recogió cada fracción en un porta muestras para posterior secado y pesaje.

Para las materias primas, provenientes de las provincias de Cotopaxi y Pastaza, el estudio del comportamiento por granulometría se hizo mediante tamizado en seco. El cual se describe (Samaniego, Estrada, 2012, p. 42):

Analitos

- Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso “La Victoria”, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Material

- Agua destilada

Equipos

- Estufa MEMMERT.
- Tamizador ATM ARROW USA 186,5 W 115 V motor Lesson.
- Balanza Mettler PE11 peso máximo 10 kg, una cifra decimal.

Procedimiento

1. Para las materias primas, se pesó alrededor de 300 g de muestra, se retiró la fracción de finos (tamaño de partícula inferior a las 38 μm) mediante deslamado con el empleo de la malla número 400 (38 μm) y la malla número 100 (150 μm) como soporte, vía hidrolavado con una corriente de agua al mineral hasta que el agua resultante de la malla número 400 resultó clara.

2. Se procedió a secar el material deslamado durante 24 horas.
3. Se pasó rodillo para desagregar las partículas de la muestra.
4. Se procedió a colocar la muestra sobre la criba superior del juego de tamices malla 16 (1180 μm) hasta malla 400 (38 μm) y se llevó a vibración mecánica por 15 minutos.
5. Se pesó la fracción retenida en cada tamiz.

Tratamiento de resultados: Con los datos experimentales, se obtuvo la curva porcentaje pasado acumulado vs tamaño de partícula (d_p) (en programa Microsoft Excel, 2010). Obtenida dicha curva se determinaron el d_{80} , coeficiente de uniformidad, coeficiente de curvatura y porcentaje de finos; dichos valores se determinaron mediante las siguientes ecuaciones (Roach, 2008, p. 392):

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad [2.4]$$

Dónde:

Cu = Coeficiente de Uniformidad.

d_{60} : tamaño de partícula correspondiente al 60 % en peso de material acumulado pasado (μm).

d_{10} : tamaño de partícula correspondiente al 10 % en peso de material acumulado pasado (μm).

$$Cc = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad [2.5]$$

Dónde:

Cc = Coeficiente de Curvatura.

d_{60} : tamaño de partícula correspondiente al 60 % en peso de material acumulado pasado (μm).

d_{30} : tamaño de partícula correspondiente al 30 % en peso de material acumulado pasado (μm).

d_{10} : tamaño de partícula correspondiente al 10 % en peso de material acumulado pasado (μm).

Para validar cada resultado se determinó el porcentaje de pérdidas, este resultado no debe sobrepasar el 1 % y se calculó con la siguiente Ecuación (Allen, 2003, p. 125

$$\frac{M_2 - \sum R_i + P}{M_2} \quad [2.7]$$

Dónde:

M_2 : masa de muestra después de realizado el deslamado (g).

R_i : masa retenida en cada tamiz (g).

P : masa retenida en el fondo (g).

Además se determinó la cantidad de finos (f) mediante la Ecuación [2.7]:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad [2.7]$$

Dónde:

f = cantidad de finos.

M_1 : masa seca de la muestra de ensayo (g).

M_2 : masa seca después de deslamado (g).

P : masa de material tamizado que queda en el fondo (g).

2.1.1.4 Contenido de humedad en Pastas de Moldeo Comerciables y Materias Primas

Para la determinación del contenido de humedad en pastas Jovi y materias primas, se procedió de la siguiente manera (Castañeda, et al. 2000, p. 21) :

Analitos: Pastas Jovi Blanca y Terracota, así como Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso “La Victoria”, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Gris Puyo.

Material

- Crisol porcelánico 125 mL capacidad vacío.

Equipos

- Balanza analítica SARTORIUS modelo TE 124S, capacidad 120 g de cuatro cifras decimales.
- Estufa MEMMERT.

Procedimiento

1. Se registró el peso del crisol porcelánico de 125 mL de capacidad vacío.
2. Se agregó 1 g de pasta fresca para posterior secado en la estufa a 35°C durante 24 horas.
3. Se registró el peso del crisol con la muestra seca.

El contenido de humedad W (%) se calculó con la Ecuación [2.8]:

$$W = \frac{M_h - M_s}{M_s - M_r} \times 100$$

Dónde

W : contenido de humedad (%).

M_h : peso de recipiente más la muestra húmeda (g).

M_s : peso de recipiente más la muestra seca (g).

M_r : peso del recipiente (g).

2.1.1.5 Color de Pastas de Moldeo Comerciales y Materias Primas

Fue necesario medir el color tanto en seco como en húmedo. Se realizó mediante comparación con la carta de colores Munsell. (Teixeira, de Souza, Nobre, 2004, p. 272).

Material

- Agua destilada.

Equipo

- Balanza analítica SARTORIUS MODELO te 124S, capacidad 120 g

Procedimiento

a) Para el análisis de color en seco:

1. Se pesó alrededor de 3 g de muestra.
2. Se colocó en la porta muestras.
3. Se buscó la gama de colores en la carta de Munsell.
4. Se registró el color en seco acompañado del código.

b) Para el análisis de color en húmedo:

1. Se pesó alrededor de 3 g de muestra.
2. Se agregó agua destilada.
3. Se amasó hasta formar un cubo.
4. Se buscó la gama del color en la carta de Munsell.
5. Se registró el color en húmedo acompañado del código.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE PASTAS DE MOLDEO COMERCIALES Y MUESTRAS ARCILLOSAS DE COTOPAXI Y PASTAZA

Las propiedades químicas que se midieron fueron el contenido de elementos químicos tales como: Si, Al, Ca, Mg, Fe, K, P, Sb, Ti y S (porcentaje en peso) en el equipo de lectura por absorción atómica AAnalyst 300 preparación previa por digestión ácida. También se determinó el pH de las muestras arcillosas, método del potenciómetro.

2.1.2.1 Composición química en Pastas de Moldeo Jovi y Materias Primas

Se realizó la medición del contenido de elementos químicos por espectrometría de Absorción Atómica en el equipo AAnalyst 300 para lo cual las muestras fueron preparadas mediante digestión ácida en microondas haciendo uso del siguiente procedimiento: (Stucki, Banwart, 2012, p. 188).

Analitos

- Pasta Jovi Blanca. Pasta Jovi Terracota. Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso “La Victoria”. Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Material

- Agua destilada.

Reactivos

- Ácido Nítrico (69 % Panreac grado Reactivo).
- Ácido Fluorhídrico (48 % Merck grado Reactivo).
- Ácido Clorhídrico (37 % Panreac grado Reactivo).

Equipos

- Balanza analítica marca SARTORIUS modelo TE 124S, capacidad 120 gHorno microondas.
- Matraz aforado 100 mL.

Procedimiento

1. Se pesó alrededor de 200 mg de muestra dentro de un reactor de teflón de 30 mL
2. Se agregó primero 3 mL de ácido nítrico luego 3 mL de ácido fluorhídrico.

3. Se calentó en microondas durante 2:30 minutos a potencia 5.
4. Se enfrió en baño de hielo durante 20 minutos.
5. Se agregó 5 mL de ácido clorhídrico.
6. Se calentó en microondas durante 2:30 minutos a potencia 5.
7. Se enfrió en baño de hielo durante 20 minutos.
8. Se aforó a 100 mL.

2.1.2.2 pH en Pastas de Moldeo Jovi y Materiales Arcillosos de Cotopaxi y Pastaza

La medición del pH se realizó con el método del potenciómetro o electroquímico de la siguiente manera (Arneson, Brickel, 2007, p. 114):

Material

- Agua destilada.

Equipos

- Balanza marca Mettler PE11, peso máximo 10 kg, una cifra decimal.
- Vaso de precipados capacidad 250 mL.
- Medidor portátil de ORP/pH/°C con compensación de temperatura Hanna Instruments HI98121.

Procedimiento

1. Se pesó 10 g de cada muestra.
2. Se añadieron 10 mL de agua y se llevó a agitación manual durante 10 minutos.
3. Se efectuó la medición de pH.
4. Se registró el valor de pH.

2.1.3 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE PASTAS DE MOLDEO COMERCIALES Y MUESTRAS ARCILLOSAS DE COTOPAXI Y PASTAZA

Las propiedades mineralógicas que se determinaron tanto en pastas de moldeo comerciales como de materias primas fueron la composición por DRX, se aplicaron dos técnicas: polvo cristalino tanto como obtención de agregados orientados. También se estudió la estructura de las muestras por microscopía electrónica de barrido. (Toma de microfotografías).

2.1.3.1 Composición mineralógica pastas Jovi de moldeo y materias primas

Para medir la composición mineralógica randómica (el total de minerales contenidos o fracción total) se realizó mediante la técnica de polvo cristalino (Martín, Sanfeliu y Gómez, 2005, pp.30-32):

Analitos

- Arcilla Roja Sigchos, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.

Equipos

- Difractómetro de rayos X de Polvos Bruker D8 Advance, con tubo de descarga con ánodo de cobre $\lambda_{Cu} = 1.5418 \text{ \AA}$, con barrido $3-70^\circ$ (2 theta scale), a pasos de $0,02^\circ$ y 1 segundo por paso. Divisor de rifles tipo Jones de 5 mm en espacio.
- Mortero.
- Porta muestras.

Procedimiento

1. Se homogeneizó 10 g de cada muestra arcillosa hasta obtener 1 g para el análisis.

2. Pulverizó y colocó en la porta muestras para la respectiva medición de la composición mineralógica global.

Posterior se aplicó la técnica para obtención de agregados orientados, a diferencia de la técnica de polvos, permitió caracterizar mejor las arcillas de forma individual, debido a que difractan por los espacios basales. ($d_p < 2 \mu\text{m}$). Posterior dispersión-centrifugación, homoionizado en K^+ tanto como Mg^{++} , los agregados, fueron sometidos a tres tratamientos: secado al aire, calcinación a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ y solvatación en etilenglicol de la siguiente manera (Martín, et al, 2006, p.241):

Materiales

- Vaso de precipitados, capacidad 250 mL
- 6 Tubos de fondo cónico, 50 mL de capacidad con tapa a rosca.

Reactivos

- Cloruro de sodio, grado analítico. Cloruro de potasio, sigma.
- Cloruro de magnesio, grado técnico. Agua destilada. Jeringa 5 mL de capacidad.
- Etilenglicol Baker, grado analítico.

Equipos

- Balanza analítica marca Mettler modelo PE11 de 1 cifra decimal.
- Centrifuga Sigma 2-6 modelo # 10220 (220-240/5-6 Hz 1 Ph).
- Mufla eléctrica Heraeus (1600°C temperatura máxima).

Procedimiento

1. Pesado 10 g de muestra y se colocó en un tubo de fondo cónico, 50 mL de capacidad con tapa a rosca.

2. Agregó 20 mL de solución 0,5 N de cloruro de sodio a la muestra el cual sirvió de dispersante, se procedió a tapar el tubo de fondo cónico llevando a agitación manual por 1 minuto, posterior centrifugado a 2000 RPM durante 3 minutos.
3. Descartado el sobrenadante líquido.
4. Se agregó agua destilada hasta completar los 50 mL de capacidad, agitó manualmente durante 1 minuto, centrifugó para eliminar el exceso de cloruro de sodio, hasta que la fracción arcillosa liviana se dispersó (hinchamiento por intercambio catiónico) y separó del limo (impureza quedó en el fondo del tubo), como muestra la Figura 2.2:



Figura 2.2. Arcilla después de lavado el exceso de sal

5. Se extrajo la fracción arcillosa dispersa mediante sifonado con una jeringa de 5 mL de capacidad y se colocó en un vaso de precipitados de 250 mL.
6. Para flocular las arcillas se dividió el contenido de arcilla dispersa en dos vasos de 250 mL para la adición de cloruro de potasio 1N y cloruro de magnesio 1N.
7. Se adicionó 50 mL de KCl 1N y MgCl 1N, posterior centrifugado a 2000 rpm durante 5 minutos y por último, se descartó sobrenadante.
8. Para eliminar el exceso de sal, se llenó con agua hasta los 50 mL de capacidad en cada uno de los tubos de fondo cónico, centrifugó a 2000 rpm durante 5 minutos y descartó sobrenadante; esta operación fue llevado a cabo tres veces.
9. Para la elaboración de la “placa orientada” se recogió con espátula la fracción arcillosa resultante, homogenizado y colocado en placas para ser secadas al aire, calcinadas a 550 °C y solvatadas en etilenglicol, tal como se presenta en la Figura 2.3:

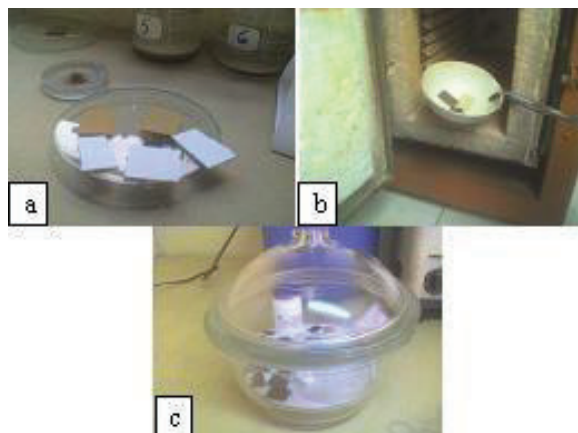


Figura 2.3. Preparación de placas. a) Secado al aire b) Calcinación a 550 °C c) Solvatación en etilenglicol

Se compararon los difractogramas primero de la técnica de polvos respecto a los analitos preparados por la técnica placas orientadas para identificación de minerales. La cuantificación de minerales en las muestras preparadas por análisis de polvos se realizó en el software TOPAS (Bruker) (Esteve, 2006, p. 174).

2.1.3.2 Estructura pastas de moldeo comerciales y muestras arcillosas de Cotopaxi y Pastaza por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

El estudio de las estructuras se realizó mediante la toma de micrografías a 100X y 1000X por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Analitos

- Pasta Jovi Blanca.
- Pasta Jovi Terracota.
- Mineral arcilloso “La Victoria”.
- Caolín Puyo.
- Arcilla Verde Puyo.
- Arcilla Gris Puyo.

Equipos

- Microscopio Electrónico de Barrido Vega Tescan con analizador de Rayos X y software Spirit 1.8 (Bruker Company).
- Molino de anillos Rotary Cup Mill Bleuer-Mill.
- Porta muestras doble faz de carbón.

Procedimiento

1. Se pulverizó alrededor de 50 g de muestra a 1000 RPM durante 1 minuto.
2. Se procedió a homogeneizar hasta obtener 1 g de muestra.
3. Se colocó sobre el porta muestras doble faz de carbón.
4. Se procedió a las observaciones superficiales de las muestras y a su análisis químico semi-cuantitativo.

2.2 FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PASTAS ARCILLOSAS PARA MOLDEO

Se realizó de forma previa a la formulación de pastas de moldeo, la obtención de aglomerante celulósico mediante reciclado de papel bond. Se eligió este procedimiento, con la finalidad de conservar el medio ambiente, tanto como el bajo coste del proceso, en caso de ejecutarse el proyecto. El número de operaciones que se requirieron, fueron las siguientes: 1) Lixiviación para blanqueo durante 6 horas a 750 RPM, 2) Sifonado de la solución CaCO_3 , 3) Formado de plancha dimensiones: 30x20x0,3 cm, por último: 4) Pulverizado del aglutinante obtenido. Se analizó el efecto de la composición porcentual de materias primas mediante la formulación de siete mezclas arcillosas para obtención de pastas frescas “blanca” y “terracota” que tuvieran propiedades similares, incluso mejores a las comerciables tales como porosidad, color, composición química, pH y mineralógica. Una vez obtenidas las mezclas se procedió a optimizar cada una (seleccionar la mejor mezcla), mediante estudio de las propiedades: densidad aparente (Bulk), este parámetro tanto como el color en húmedo.

Se desarrollaron ensayos de caracterización física: Densidad Real, Densidad Aparente, Porosidad, Densidad aparente (Bulk), Color en húmedo. Así como estudio del comportamiento técnico mediante ensayos de caracterización química (contenido de elementos químicos, tanto como el pH). Por último, lectura de compuestos mineralógicos por Difracción de Rayos X. Adicional se estudió la plasticidad tanto como la factibilidad técnica de extrusión mediante los ensayos: deformabilidad uso del plasticímetro Pfefferkorn. Límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico). La metodología empleada para análisis de la factibilidad técnica en producción de pastas arcillosas frías, similares a las Jovi provenientes de España, se detalla.

2.2.1 RECICLADO DE CELULOSA COMO AGLOMERANTE PREVIO A LA FORMULACIÓN DE PASTAS ARCILLOSAS PARA MOLDEO

El aglomerante celulósico fue regenerado a partir de papel bond usado, esto con la finalidad de promover el reciclaje en la industria cerámica y por otro lado, porque la celulosa de papel es libre de microorganismos que puedan a un pequeño o largo plazo degradar las pastas de moldeo. El orden de los procesos unitarios realizados (lixiviación de blanqueo, sifonado, formado de planchas, secado, así como pulverizado), se realizó conforme a la obtención de papel. (Contreras, 2013, p. 81).

Para obtener aglutinante de celulosa se recicló papel bond usado de la siguiente manera (Turrado, et al, 2008, p. 130):

Materiales

- Papel bond usado.
- Carbonato de Calcio grado técnico.
- Agua destilada.

La Figura 2.4 presenta el diseño del ensayo.

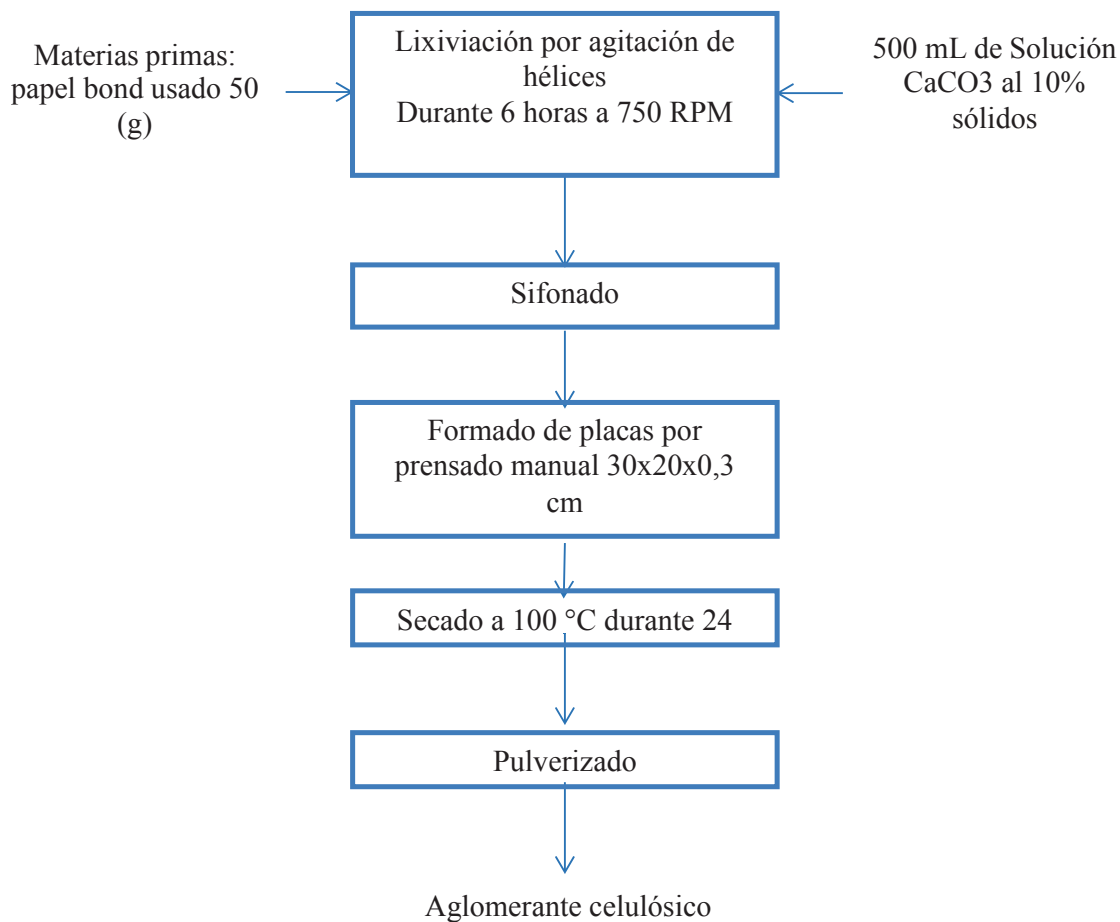


Figura 2.4. Esquema del método para obtención de aglutinante celulósico a partir de papel bond reciclado

Equipos

- Balanza analítica marca Mettler modelo PE11 de una cifra decimal.
- Estufa MEMMERT.
- Agitador mecánico de aspas, 750 RPM.
- Molino de anillos Rotary Cup Bleuler-Mill a 1000RPM.

Procedimiento

1. Se pesaron alrededor de 50 g de papel bond usado para posterior mezcla en solución de carbonato de calcio.

2. Se realizó la lixiviación para blanqueo de las materias primas a 750 RPM durante 6 horas.
3. Concluido el tiempo de lixiviación, se procedió a sifonar la solución con impurezas y formado de planchas con dimensiones: 30,0x20,0x0,3 cm.
4. Llevó a secado a 100°C durante 24 horas.
5. Pulverizado durante 1 minuto.

Se determinó el contenido de humedad en los aglomerantes obtenidos, por el método descrito en el acápite 2.1.1.5.

2.2.2 MEZCLADO, FORMULACIÓN DE PASTAS ARCILLOSAS Y CARACTERIZACIÓN

Las materias primas fueron seleccionadas para realizar las pruebas con la finalidad de optimizar la composición por medio de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas: Caolín Puyo y Arcilla Verde Puyo. La formulación de mezclas se planteó con Carbonato de Calcio grado técnico como material antiplástico al 30 % en sólidos.

En tanto que el aglutinante celulósico reciclado se planteó en: 5 %, 10 % y 15 %. Se formularon en total siete mezclas, para estudiar el efecto de la composición de materias primas, este último factor fue influyente para la regularidad de características y propiedades de los productos a obtener. Los diferentes porcentajes planteados se presentan en la Tabla 2.1 (Poirier, Baena, Picardo y Hung, 2014, p.1):

Los nombres de cada mezcla se designaron por números romanos seguidos de las siglas PB que significan Pasta Blanca, de esta manera para la mezcla IPB es la primera formulada con 70 % de Caolín Puyo y 30 % de carbonato de calcio como anti plástico.

Tabla 2.1. Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de pasta de moldeo “blanca”

Mezcla	Porcentaje de materia prima (%)			
	Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Carbonato de calcio como anti plástico	Aglomerante celulósico
I PB	70		30	
II PB	65	5	30	
III PB	35	35	30	
IV PB	5	65	30	
V PB	55		30	15
VI PB	60		30	10
VII PB	65		30	5

PT= Pasta Blanca

Para estudiar el efecto de la composición porcentual de las materias primas ecuatorianas escogidas, se realizaron ocho mezclas, en base a la composición mineralógica de la Pasta Jovi Terracota, en función del color amarillento, fue seleccionada la Arcilla Gris Puyo.

Se enumeraron a las mezclas con nomenclatura romana, seguidos de las siglas PT que significan Pasta Terracota, de esta manera por ejemplo la numeración VIIIPT corresponde a la octava formulación compuesta de 32,5 % de Arcilla Roja Sigchos, 32,5 % de Caolín Puyo, 30 % de carbonato de calcio como anti plástico y 5 % de aglomerante celulósico.

En la Tabla 2.2 se muestran las mezclas realizadas para obtención de pasta de moldeo similar a la Jovi Terracota.

Se realizaron 200 g de cada mezcla, se agregó 60 mL de agua, posterior homogeneizado y amasado para luego dejar en reposo durante 24 horas con la finalidad de madurar las pastas.

Tabla 2.2. Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de pasta de moldeo “terracota”

Mezcla	Porcentaje de materia prima (%)				
	Arcilla Roja Sigchos	Caolín Puyo	Arcilla Gris Puyo	Carbonato de calcio como anti plástico	Aglomerante celulósico
I PT	65,0	5,0		30,0	
II PT	35,0	35,0		30,0	
III PT	65,0		5,0	30,0	
IV PT	35,0		35,0	30,0	
V PT	5,0		65,0	30,0	
VI PT	27,5	27,5		30,0	15,0
VII PT	30,0	30,0		30,0	10,0
VIII PT	32,5	32,5		30,0	5,0

PT= Pasta Terracota

2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE PASTAS ARCILLOSAS

Las propiedades físicas se midieron al igual que en las pastas de moldeo comerciables, la densidad real, densidad aparente, porosidad y color mediante los métodos descritos antes en los ítems 2.1.1.1, 2.1.1.2, 2.1.1.3 y 2.1.1.6 (b).

2.2.3.1 Determinación de la densidad aparente

Luego de que una pasta ha sido conformada, posee una propiedad en virtud de su peso y volumen, se conoce como densidad aparente, la diferencia con la descrita en la sección 2.1.1.2 radicó en que se realizó a la pasta de moldeo húmeda con la finalidad de calcular el balance de masas a la salida de la operación unitaria conformado por extrusión. Esta medición se hizo con la finalidad de determinar el volumen de producción con respecto del valor más bajo, la selección de la mejor mezcla. (Bansal, et al, 2010, p. 141):

Equipos

- Molde de yeso, medidas: largo 3,5 cm, ancho: 2 cm y alto: 1,2 cm.
- Escalímetro STAEDLER 561 98-1 escala 1:100.
- Balanza Mettler PE11 peso máximo 10 kg, una cifra decimal.

Procedimiento

1. Se conformaron las pastas arcillosas.
2. Se comprobaron las medidas de las probetas obtenidas.
3. Se registró el peso de cada probeta.

El cálculo de la densidad aparente se realizó mediante la Ecuación [2.10]:

$$D = \frac{m}{V} \frac{g}{cm^3} \quad [2.10]$$

Dónde:

D = Densidad Aparente (Bulk Density) (g/cm³).

m = Masa de la probeta (g).

V = Volumen de la probeta = largo×alto×ancho (cm³).

Tanto los ensayos de composición química como el pH fueron realizados como lo indican las secciones 2.1.2.1 y 2.1.2.2 descritos con anterioridad. En lo correspondiente a las propiedades mineralógicas, las pastas arcillosas con contenido similar en propiedades a las comerciáveis fueron preparadas para lectura de compuestos mineralógicos en el equipo de difracción por rayos X conforme a la sección 2.1.3.1 ya descrita.

2.2.4 DETERMINACIÓN DE ÍNDICES PLÁSTICOS Y LÍMITES DE ATTERBERG EN PASTAS ARCILLOSAS

Para determinación de moldeabilidad óptima se realizaron ensayos en el plasticímetro de Pfefferkorn. Los límites de Atterberg medidos fueron: límite

líquido mediante el uso del equipo copa Casagrande y límite plástico, la metodología se detalla.

2.2.4.1 Plasticidad mediante ensayos de Pfefferkorn

Con la finalidad de determinar la deformabilidad óptima para extrusión en pastas de moldeo de características similares a las comerciables, se hicieron los ensayos con el equipo de Pfefferkorn en el Departamento de Cerámica EPN, de la siguiente manera (Tirado, 1994, pp. 43-51):

Material

- Agua destilada.

Equipos

- Molino de anillos Rotary Cup Mill Bleuler-Mill.
- Calibrador manual
- Balanza pioneer OHAUS de cuatro cifras decimales.
- Equipo de Pfefferkorn.

Procedimiento

1. Se pulverizaron 900 g de cada mezcla durante un minuto.
2. Se tomaron 300 g de muestra representativa y se mezclaron con agua destilada hasta que cada pasta tenga una consistencia uniforme. Esto se logró con 90 mL, entonces para efectos de comparación se realizaron pruebas con 120 mL y 75 mL.
3. Se amasó cada mezcla durante 15 minutos y se dejó reposar durante un día con la finalidad de que se distribuya la humedad por toda la mezcla (maduración).

4. Para obtención de probetas en el ensayo, cada pasta pasó por una extrusora de desplazamiento positivo de émbolo. El esquema de la extrusora se muestra en la Figura 2.5:

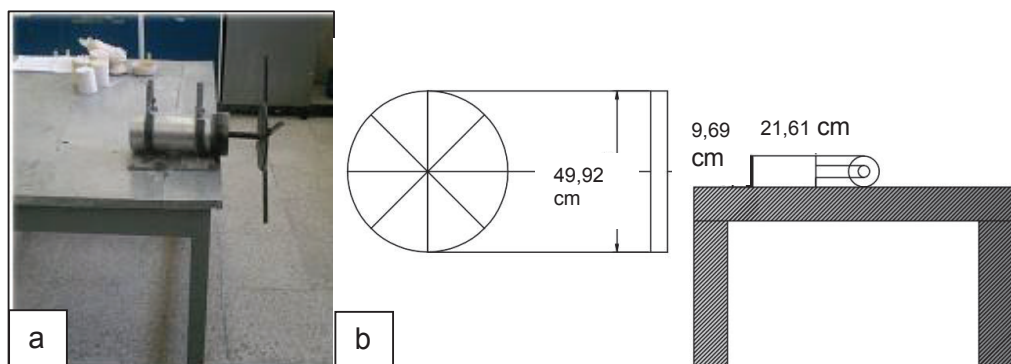


Figura 2.5. Esquema del mecanismo manivela, émbolo, boquilla de la extrusora empleada para el conformado de probetas en el ensayo de Pfefferkorn

5. Se midió la altura inicial (h_0), con un calibrador manual.
6. Se registró el peso inicial de cada probeta en la balanza Pioneer OHAUS de cuatro cifras decimales.
7. En el plasticímetro de Pfefferkorn, se sometieron las muestras a la caída de la plataforma, seguido de esto, se midió la altura final (h_1) con calibrador manual y se volvió a registrar el peso.
8. Se secó cada muestra durante 24 horas.
9. Se registró el peso de cada muestra seca.

Con estos datos, adicionalmente se determinó el contenido de humedad (W), mediante el método descrito en la sección 2.1.1.5 en cada pasta de moldeo, así como el índice de plasticidad h_0/h_1 , para evaluación de moldeabilidad y el contenido de agua óptimo para el amasado en las pastas de moldeo. Este valor se obtuvo al extrapolar la recta Contenido de humedad % vs h_0/h_1 hasta que sea de 3,3 (h_0/h_1), es decir que se experimentara una contracción lineal del 33 %. (Toretti, et al, 2012, p. 227).

2.2.4.2 Límites de Atterberg

Para determinación de los límites de Atterberg líquido y plástico en las pastas de moldeo con características similares a las comerciables, se procedió de la siguiente manera (Mukherjee, 2013, p.63):

a) **Límite líquido:** Para determinación del límite líquido se empleó el equipo copa de Casagrande de la siguiente manera:

Materiales

- Agua destilada
- Crisoles porcelánicos

Equipos

- Mufla eléctrica de Nabertherm
- Cuchara Casagrande.

Procedimiento

1. Se prepararon mezclas pulverizadas con 100 g en total para cada contenido de agua: 25 mL, 30 mL y 40 mL, para ser amasadas posteriormente.
2. Se dejaron madurar las pastas obtenidas durante 24 horas.
3. Se tararon crisoles porcelánicos a 950 °C durante 1 hora.
4. Una vez maduras las pastas, se colocaron en el equipo Copa Casagrande, del laboratorio de Cerámica en la Escuela Politécnica Nacional, la masa fue colocada hasta una altura aproximada de 1 cm.
5. Se abrió una línea en la mitad a lo largo del diámetro, desde el eje de la copa, hasta el borde, libre de ella, habiendo formado un canal.
6. Se movió la manivela del equipo, para producir el choque de la taza con la base a razón de un golpe por cada dos segundos, hasta haber conseguido

que los labios de la ranura se hayan unido; se anotó el número de golpes y se tomó una muestra representativa para la determinación del contenido de humedad. El esquema del equipo se presenta en la Figura 2.6.

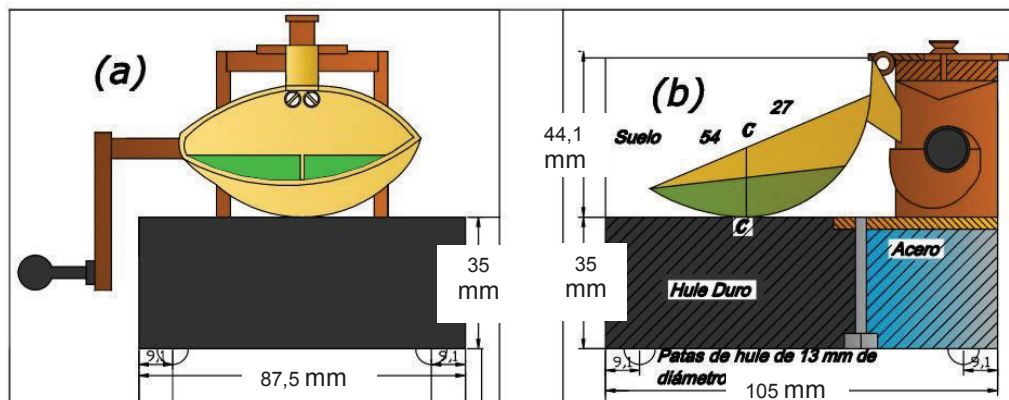


Figura 2.6. Equipo copa Casagrande a) Vista frontal b) Vista Lateral
(Andrade, et al, 2011, p. 3)

b) Límite plástico: Una vez obtenidas las pastas con la humedad óptima, se procedió a medir el límite plástico, en el laboratorio de Cerámica de la Escuela Politécnica Nacional, haciendo uso de la Norma ASTM D 424-59 (Álvarez, Chacho, 2015, pp. 145-147):

Materiales

- Crisoles porcelánicos

Equipos

- Balanza analítica OHAUS PA – 124, capacidad 210 gr, calibración externa,

Procedimiento

1. Se tomaron alrededor de 10 g, de cada pasta madurada, con los que se formó mediante amasado, una esfera para luego convertirla en una varilla de 3 mm de diámetro.

- 2 Se presionó la masa, hasta que se hayan formado grietas, entonces se tomaron porciones de cada color, se colocaron en crisoles de porcelana previamente tarados a 950 °C durante una hora, se registraron los pesos en húmedo y luego de secado.

Con los datos obtenidos se determinó el límite plástico de la siguiente manera:

$$LP = \frac{\text{masa } H_2O}{\text{masa muestra seca}} \times 100 \quad [2.11]$$

Dónde:

LP = Límite plástico, se reporta este resultado como el número entero más próximo al obtenido.

2.3 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ARCILLOSAS PARA ELABORACIÓN DE JUGUETES LÚDICOS

Para obtención de una mezcla en la producción de juguetes lúdicos, se procedió a realizar ensayos mediante evaluación de la composición porcentual empleando cuatro materias primas: mineral arcilloso “La Victoria”, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo. Estos materiales fueron seleccionados de acuerdo a la composición química, mineralógica, así como las propiedades físicas evaluadas inicialmente.

2.3.1 ELABORACIÓN DE JUGUETES LÚDICOS A ESCALA

Con la finalidad de obtener la mezcla para producir juguetes lúdicos, tales como ladrillos y tejas a escala, se analizó el efecto de la composición porcentual para lo cual se elaboraron probetas a diferentes formulaciones. Una vez obtenidas tales probetas de ensayo, se realizaron dos ensayos de “quemados” hasta 850 °C y 1000 °C. Entonces se obtuvieron datos gravimétricos y lineales para evaluación de propiedades físicas tales como: porcentaje de pérdidas por ignición, absorción de

humedad, contracción en crudo y a la quema. También se evaluó el color a la quema. Determinada la mezcla óptima a temperatura de sinterización, se midieron las propiedades químicas tales como: composición de elementos mediante microscopía electrónica de barrido MEB y el control de calidad por medio del test de toxicidad TCLP.

2.3.1.1 Preparación de las probetas de mezclas arcillosas para la elaboración de juguetes lúdicos a escala

Para analizar el efecto de la composición porcentual de las cuatro materias primas (mineral arcilloso “La Victoria”, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo), se efectuaron siete mezclas diferentes que se presentan en la Tabla 2.3 (Duitama, L., et al., 2004. p. 560).

Tabla 2.3. Relación de materias primas empleadas en la preparación de las mezclas experimentales para elaboración de juguetes lúdicos

Mezcla	Porcentaje de materia prima (%)			
	Mineral arcilloso “La Victoria”	Arcilla Roja Sigchos	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
I JL	100			
II JL	90	10		
III JL	75	25		
IV JL	90		10	
V JL	75		25	
VI JL	90			10
VII JL	75			25

JL: Juguetes Lúdicos

Los porcentajes iniciales se tomaron de acuerdo a las cantidades empleadas actualmente por los artesanos de La Victoria (Pujilí), con las materias primas mineral arcilloso “La Victoria” y Arcilla Roja Sigchos en relación 3:1. Se enumeró cada mezcla con números romanos, por ejemplo la II es la segunda formulación compuesta de mineral arcilloso “La Victoria” 90 % y Arcilla Roja Sigchos al 10 %.

Material

Agua destilada

Equipos

- Balanza Mettler PE11.
- Mufia eléctrica Lindberg Blue (T máx: 1100 °C).
- Molde de yeso.
- Rodillo metálico.

Procedimiento

1. Se prepararon 200 g de mezclas arcillosas como se indica en la Tabla 2.3, que fueron homogeneizadas.
2. Se agregó la cantidad de 60 mL de agua por pasta, se amasó y dejó en reposo durante 24 horas, esto con la finalidad de que las pastas maduren y así se aproveche la plasticidad de las mismas.
3. Se realizó el conformado de probetas Largo: 10 cm, Ancho: 5 cm y Profundidad: 0,5 cm en molde de yeso por prensado como lo muestra la Figura 2.8, para esto se empezó por empujar la pasta hacia las esquinas del molde para que se formaran las aristas, luego se presionó la pasta a lo largo del molde y al final se pasó rodillo (de amasar), esto con la finalidad de reducir al máximo la cantidad de poros y el efecto mecánico en la contracción de cada pasta.
4. Se registró el peso de cada probeta húmeda.
5. Se secó al ambiente y luego se procedió a secado en estufa a 100 °C durante 24 horas.
6. Se registró el peso de cada probeta seca.
7. Se realizaron dos pruebas de “quema” a 850 °C y a 1000 °C. Como se muestra en la Figura 2.7

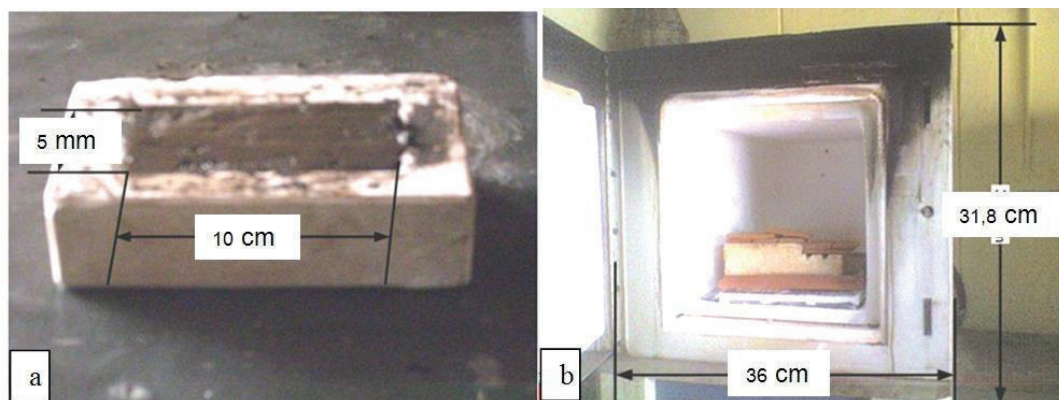


Figura 2.7. Preparación de probetas a) Conformado por prensado. b) “quema” de placas

Los ciclos de cocción empleados para alcanzar las temperaturas de sinterización 850 °C y 1000 °C, se realizaron a intervalos de media hora desde la temperatura ambiente (21 ° C). (Albors, 2001, p. 170)

2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS PIEZAS LÚDICAS

Una vez analizado del efecto de la composición porcentual en las mezclas arcillosas para obtención de juguetes lúdicos. Se procedió a medir la calidad de la mejor combinación de arcillas (materias primas), así como la temperatura de sinterización (quema) que sea óptima. Mediante un análisis de las propiedades físicas. Se determinaron las siguientes propiedades: pérdidas al secado, absorción de humedad, contracción en crudo, a la quema y color a la quema.

2.3.2.1 Porcentaje de pérdidas por ignición

Para determinar el porcentaje pérdidas de peso por ignición (cantidad de materia perdida durante la quema), así como pérdidas al secado (cantidad de agua absorbida) y las pérdidas totales, empleó la metodología de acuerdo a la norma ASTM C-114-00. (Hussey, Wilson, 2012, p.233)

Equipo

- Balanza Mettler PE11.

Procedimiento

1. Cada placa húmeda fue pesada en húmedo.
2. Después del secado cada placa fue pesada, al igual que después del proceso de “quema”.

Las pérdidas se calcularon mediante las ecuaciones [2.12], [2.13] y [2.14]:

$$\%P_T = \frac{P_H - P_Q}{P_H} \times 100 \quad [2.12]$$

Dónde:

% P_T = Porcentaje de pérdidas totales.

P_H = Peso de la placa húmeda (g).

P_Q = Peso de la placa “quemada” (g).

$$\%P_S = \frac{P_H - P_S}{P_H} \times 100 \quad [2.13]$$

Dónde:

% P_S = Porcentaje de pérdidas por secado.

P_H = Peso de la placa húmeda (g).

P_S = Peso de la placa seca (g).

$$\% P_Q = \%P_T - \%P_S \quad [2.14]$$

Dónde

% P_Q = Porcentaje de pérdidas a la quema.

% P_T = Porcentaje de pérdidas totales.

% P_S = Porcentaje de pérdidas por secado.

2.3.2.2 Porcentaje de absorción de humedad

Para determinar el porcentaje de absorción de humedad se realizó el curado de placas “quemadas” en autoclave, esto para remoción de cenizas remanentes de reacciones de calcinación durante la “quema” también para remoción de gases producidos de combustión que suelen generar reacciones del tipo reversible y lo que provoca que se degenere la placa. Se procedió de acuerdo a la norma Inen 0926. Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad. (Gordejuela, 2003, p. 29):

Equipos

Autoclave Webeco modelo No. 82007 (Pmax: 2,5 atm)

Balanza analítica marca Mettler modelo PE11 de una cifra decimal.

Procedimiento

1. Se sometieron las piezas “quemadas” a un proceso de ebullición a 1 atm de presión y 100 °C durante dos horas.
2. Se dejó que el sistema enfríe durante 24 horas y procedió a retirar las muestras.
3. Se sumergieron las muestras en una bandeja llena de agua para que las placas absorbieran la humedad.
4. Se registró el peso de las placas húmedas.

El porcentaje de absorción de humedad se calculó con la Ecuación [2.15]:

$$\%A = \frac{P_M - P_Q}{P_M} \times 100 \quad [2.15]$$

Dónde:

% A = Porcentaje de absorción de humedad.

P_M = Peso de la placa curada en autoclave húmeda (g).

P_Q = Peso de la placa “quemada” (g)

2.3.2.3 Contracción lineal

La medida de contracción lineal (en crudo o al secado) se realizó empleando el siguiente método (Deleg, 2010, p. 50)

Equipos

- Escalímetro Stadler Esc. 1:100.
- Estufa MEMMERT.

Procedimiento

1. Conformadas las placas en húmedo mediante prensado manual, se midieron dos longitudes en la cara largo x ancho: horizontal y diagonal de 5 cm.
2. Una vez secadas a 100 °C durante 24 horas, se midió la longitud resultante tanto horizontal como diagonal.

Se calculó la contracción en crudo con la Ecuación [2.16]:

$$\%C_s = \frac{L_i - L_s}{L_i} \times 100 \quad [2.16]$$

Dónde:

% Cs= Contracción al secado (en crudo).

L_i = Longitud en húmedo (cm).

L_s = Longitud en seco (cm).

2.3.2.4 Contracción a la quema

Para medir la contracción de las probetas sinterizadas (“quemadas”), se empleó la siguiente metodología (Vásquez, 2005, p. 111):

Equipo

- Mufla Eléctrica Lindberg Blue (T_{Máx} = 1100 ° C).

Procedimiento

1. Conformadas las placas en húmedo mediante prensado manual, se midieron dos longitudes en la cara largo x ancho: horizontal y diagonal de 5 cm.
2. Una vez quemadas a 850 °C y 1000 °C, se midió la longitud resultante tanto horizontal como diagonal.

Se calculó la contracción total mediante la Ecuación [2.17]:

$$\%C_T = \frac{L_I - L_Q}{L_I} \times 100 \quad [2.17]$$

Dónde

% CT = Contracción total.

LI = Longitud en húmedo (cm).

LQ = Longitud a la quema (cm).

La contracción a la quema se calculó con la Ecuación [2.18]:

$$\%C_Q = \%C_T - \%C_S \quad [2.18]$$

Dónde

% CQ = Contracción a la quema.

% CT = Contracción total.

% CS = Contracción en crudo (al secado).

2.3.2.5 Color a la quema

El análisis de color a la quema se realizó por comparación de cada muestra con la carta de colores Munsell empleando el método descrito en la sección 2.1.1.6.

2.3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS PIEZAS LÚDICAS

Conocida la mezcla óptima y temperatura de sinterización se procedió a realizar la medición de la composición química semicuantitativa de elementos. Además para cumplir con establecido con la normativa ambiental se realizó el test de toxicidad TCLP.

2.3.3.1 Determinación de la composición química semicuantitativa mediante MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Para la determinación en el equipo de microscopía electrónica de barrido se procedió a preparar la muestra de la siguiente manera (Gimeno, Pugés, 2015, p. 228):

Equipos

- Molino de rodillos Rotary Cup Mill Bleuler-Mill.
- Microscopio Electrónico de barrido (SEM) Tescan con analizador de Rayos X
- Quantax (Bruker company).

Procedimiento

1. Se pulverizó la placa a 1000 RPM durante un minuto.
2. Se colocó en el portamuestras para realizar la medición

3. Se determinó el contenido semi-cuantitativo de elementos tales como: Si, Na, Al, Ca, Mg, K, Fe, Ti, Cu, Pb, Zn.

2.3.3.2 Test de toxicidad (TCLP)

Con la finalidad de garantizar el uso de estos juguetes para uso de los niños y evitar contaminación al medio ambiente al momento en que sea arrojado a la basura y que no genere lixiviados tóxicos, de acuerdo con la normativa ambiental ecuatoriana, se realizó el test de toxicidad a la probeta de mezcla óptima a temperatura de sinterización de la siguiente manera (Göl, 2006, p. 34):

Material

Agua destilada

Reactivo

Ácido acético glacial

Equipos

- Molino de Rodillos Rotary Cup Mill Bleuler Mill.
- Balanza marca BOECO Germany, BBL54, peso máximo 300 g
- Frascos porta muestras de 50 mL.
- Equipo para lectura de elementos químicos por Absorción Atómica AAnalyst

Procedimiento

1. Para obtener tamaños de partícula inferiores a los 7 mm según el método EPA TCLP 1311, año 1992, se pulverizó 50 g de muestra a 1000 RPM durante 1 minuto.
2. Se pesó 10 g de muestra.

3. Se agregó 200 mL de agua destilada (relación Sólido: Líquido = 1:20).
4. Se ajustó el pH de 7 a 4,5 con la adición de 1 mL de ácido acético glacial.
5. Se realizó la lixiviación en lecho agitado por hélice a 750 RPM durante 20 horas.
6. Se dejó decantar y la solución aclarada fue pipetada en dos frascos porta muestras de 50 mL.
7. Se enviaron los 100 mL de solución aclarada a lectura de elementos por absorción atómica: As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag.

2.4 DEFINICIÓN DE DIAGRAMA DE FLUJO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Una vez realizados los ensayos de laboratorio, con las propiedades óptimas, se procedió a definir las operaciones unitarias requeridas para la obtención de los productos tanto pastas de moldeo como juguetes lúdicos, empleando materias primas nacionales. La capacidad de procesamiento, es decir la cantidad de materiales arcillosos a procesar fue de 50 kg/día.

La planta sería capaz de producir dos productos: pastas de moldeo (cerámica fría, acabados de bizcocho) tanto como juguetes lúdicos (ladrillos a escala aproximadamente 1:8). Con el objetivo de diseñar una planta con capacidad de procesamiento en 50 kg/día de materias primas nacionales, fueron necesarias las siguientes líneas de producción: 1) Para procesamiento de pastas de modelaje color blanca y terracota; 2) De procesamiento en juguetes lúdicos tales como ladrillos y tejas a escala, juntas en una planta multiproducto. Los aditivos empleados fueron aglomerantes celulósicos obtenidos por reciclado en la línea de producción para pastas de moldeo.

Los procesos que se aplicarían para producir pastas frescas serían los siguientes: alimentación, reducción de tamaño, clasificación, mezcla (adición de agua), conformada y empacada. Para obtener juguetes lúdicos las operaciones unitarias a aplicarse serían las siguientes: almacenamiento/alimentación, trituración

primaria tanto como secundaria, clasificación por tamizado, mezcla (adición de agua), conformado, secado/cocción, empaçado. Los datos requeridos para evaluar localización, la capacidad de procesamiento, diagrama de flujo propuesto para el diseño de equipos, se presenta en la siguiente sección.

2.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO

La capacidad de procesamiento en minerales de la planta fue de 50 kg/día. De acuerdo a esto, se tendría un proyecto a pequeña escala, es decir equipos que se emplearan en laboratorio. Las materias primas provenientes de los yacimientos no metálicos, serán transportadas en sacos de capacidad 50 kg para luego ser colocadas en cajas alimentadoras tipo belt feeder.

Luego pasarían al circuito directo reducción de tamaño clasificación, chancado primario mediante trituradora de mandíbulas para luego pasar a la de cono y selección de tamaño de partícula a través de una zaranda vibratoria. En lo correspondiente a las pastas de moldeo, las materias primas pasarían a la mezcladora horizontal de paletas para homogeneizado y posterior conformado por extrusión.

La operación final sería el empaçado de estos productos en una envolvedora horizontal tipo Flow Pack, para posterior distribución al mercado nacional. Para la producción de juguetes lúdicos, los materiales arcillosos provenientes del circuito de trituración-clasificación, pasarían junto con la cantidad de agua requerida para el proceso a una mezcladora horizontal de paletas y posterior extrudado de juguetes en crudo. Una vez obtenidas las piezas cerámicas pasarían a cocción a la temperatura de sinterización óptima y posterior enfriamiento para empaçado manual y distribución nacional.

En la Figura 2.8 se presenta el diagrama de flujo de operaciones unitarias a realizarse en forma general.

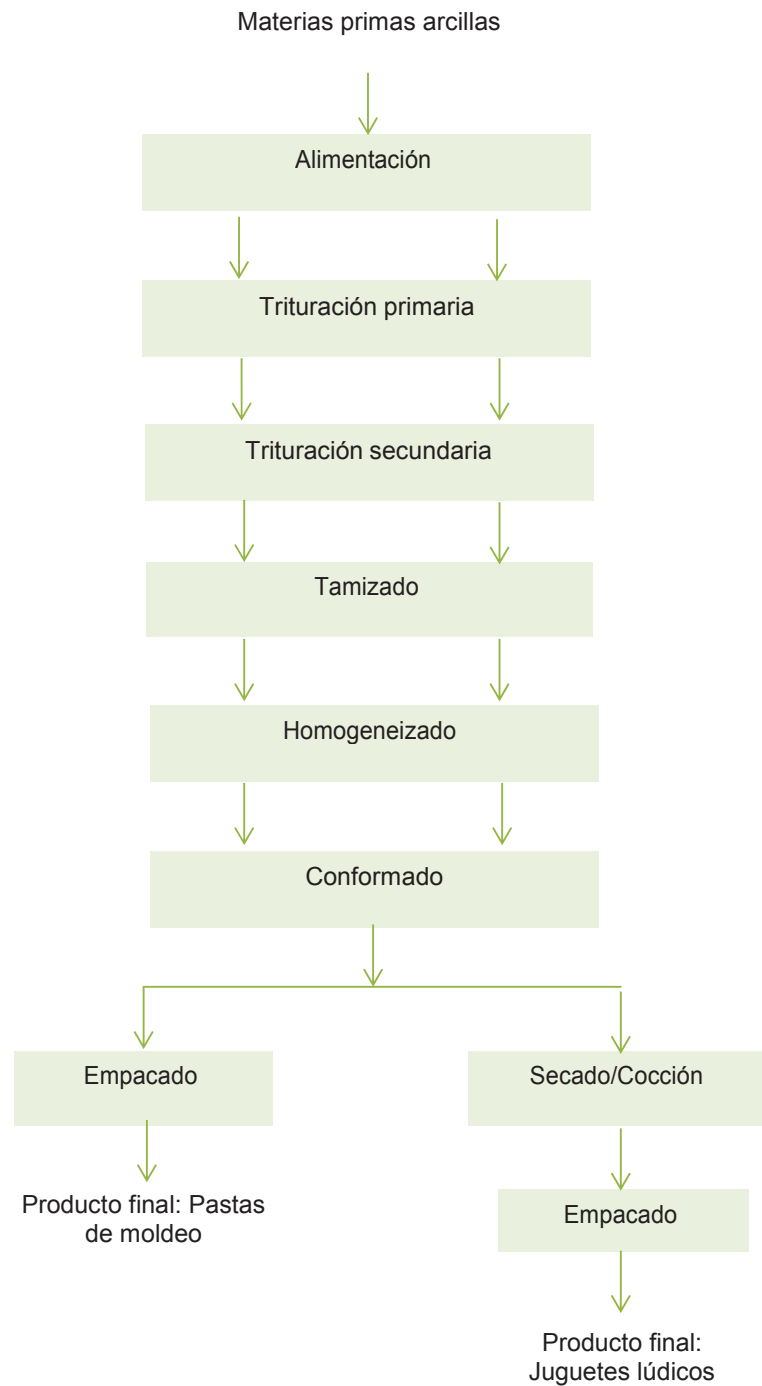


Figura 2.8. Diagrama de flujo en bloques (BFD) de la planta multiproducto para obtención de pastas frías y juguetes lúdicos

2.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

A continuación se presentan en orden de las operaciones unitarias a seguir, las consideraciones así como los materiales en que irán los equipos diseñados mediante modelado matemático.

Reciclado de celulosa como aglomerante: El primer paso en el reciclado de celulosa a partir de papel usado, sería la lixiviación en solución de CaCO_3 como blanqueador. Esto se llevaría a cabo en un equipo de acero inoxidable puesto que trabajaría con líquidos. El volumen libre o espacio libre de cabeza para el tanque agitador sería de 10 %. En tanto que la relación longitud/diámetro propia para este tipo de equipo equivalente a 1.

El siguiente paso después de haber llevado a cabo la lixiviación, sería el secado. Para esto se dimensionó una estufa, como se va a retirar humedad el material de las paredes sería acero nickelado (a una temperatura de trabajo de 100°C). El volumen en húmedo por cada placa de aglomerante, 24000 cm^3 . Por último, la celulosa secada formada en placas pasaría a reducción de tamaño. Para tal proceso se diseñaría una trituradora de cuchillas. Para reducir dicha materia prima, se trabajaría con un equipo libre de cromo (contaminación cambio de color). Las cuchillas fijas serían de acero, con el propósito de obtener la potencia aproximada de trabajo se emplearía un $n=20 \text{ rpm}$, mediante la siguiente relación:

$$W = \frac{2\pi n}{60} (\text{Larburu, 1995, p. 114}).$$

Producción de pastas de moldeo y juguetes lúdicos: Parte previa de las operaciones unitarias en general, sería el almacenamiento y alimentación de materias primas a los procesos. Para esto se diseñaron cajas alimentadoras del tipo belt-feeder, su nombre se debe a que una banda transportadora al pie del equipo, lleva el material hasta el circuito de reducción de tamaño. Como se trata de minerales arcillosos, el material de la banda transportadora sería de caucho y para la caja alimentadora, acero.

El primer paso en las operaciones unitarias para procesamiento de minerales arcillosos, sería la reducción de tamaño, para chancado primario se dimensionaron trituradoras de mandíbulas. El material de las mandíbulas sería acero al manganeso, en tanto que material de la tolva acero cromado, el grado de reducción ϕ , 1/8.

Como dato para determinación de la potencia del motor se tomaron cifras del índice de trabajo Tabla 1.10 del sustento teórico ($7,10-14,24 \text{ kW.h.}\mu\text{m}^{0,5}.\text{ston}^{-1}$). Para chancado secundario, se dimensionó una chancadora de cono. El material de la taza fue acero fundido de manganeso, el índice de trabajo para las materias primas estaría en el rango comprendido entre 7,10 y 14,24 $\text{kW.h.}\mu\text{m}^{0,5}.\text{ston}^{-1}$. La clasificación del material en función del tamaño de partícula, se realizaría mediante el empleo de zarandas vibratorias. Para diseño de este equipo, se consideró que sea abierto y en acero.

Para el homogeneizado de las pastas arcillosas, se dimensionaron mezcladoras horizontales de paletas. Como las pastas contienen agua, el material sería acero inoxidable y con un rango de potencia entre 1 y 3 HP. El conformado de piezas cerámicas, sería por extrusión, método ampliamente usado a escala industrial para producción de ladrillos. En forma general, la viscosidad de las arcillas fue de 100000 Pa.s.

El ángulo de la hélice sería de 0,19 radianes, en tanto que la separación entre la camisa y hélice estaría en 0,3 mm, constante de cálculo para potencia del motor (k) fue de 0,99. En empacado de las pastas de moldeo, se diseñaron envolvedoras horizontales tipo flow-pack.

Los factores de escalamiento geométricos en función de la longitud del rodillo fueron las siguientes: factor (rodillo/ancho empacadora) = 0,67; factor (rodillo/altura del rodillo) = 0,18; factor (rodillo/longitud de la empacadora) = 0,15 y factor (rodillo/altura de la banda transportadora) = 0,33. La cocción de juguetes lúdicos se llevaría a cabo en un horno mufla.

Las paredes de refractario serían dos tablas de fibra cerámica refractaria y una colchoneta del mismo material; las capacidades caloríficas tanto para el agua como para la masa de ladrillo son $4,2 \text{ kJ.kg.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ y $0,75 \text{ kJ.kg.}^{\circ}\text{C}^{-1}$. Distribución de equipos en planta.

El layout una vez dimensionados todos los equipos de acuerdo a los balances de masa en cada operación unitaria necesaria para obtención de los productos, se realizó evaluando el número de productos a obtener en función de los procesos y el tiempo que cada uno demoró. De esta manera se evitarían accidentes laborales, ahorro de recursos, así como mejorar los rendimientos en planta. (Thomsen, Guitart, 2007, pp. 29-30).

2.5 EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA PLANTA DISEÑADA

Para la evaluación de la rentabilidad del presente proyecto se obtendrá el valor de la tasa interna de retorno (TIR), también los indicadores económicos valor actual neto o valor presente neto (VAN) y el tiempo de recuperación de la inversión inicial. Así como el análisis de sensibilidad económica.

2.5.1 LOCALIZACIÓN DE PLANTA

Parte del diseño de la planta, consistió la evaluación de localización para lo cual se tuvo en cuenta dos localizaciones: La Victoria en Pujilí y El Puyo. El análisis se realizó evaluando costes de terrenos así como los precios de los fletes desde las áreas fuente hasta la posible ubicación. (Martínez, 2000, p. 36)

2.5.2 DETERMINACIÓN COSTOS FIJOS

Para inicio del proyecto se cotizaron los siguientes bienes: el terreno donde se va a construir, obra civil, maquinaria, trámites de permisos, todo lo correspondiente a la inversión inicial. (Arata, 2009, p. 63).

2.5.3 DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

Para la elaboración de los productos se requiere del consumo de luz, agua potable, mano de obra, materias primas y el transporte tanto de las menas de los minerales como de los productos finales a sus canales de distribución. (Silla, 2003, p. 35)

2.5.4 FIJACIÓN DE PRECIOS

Obtenido el costo de producción unitario se decidió fijar los precios con un incremento del 25% sobre el costo de producción unitario en cada producto.

Estos valores obtenidos contemplan el primer año de producción, el presente proyecto tendría una duración de 10 años, completado el ciclo de duración se procederá al cierre de planta sin afectar al medioambiente. (Garret, 2012, p. 4).

2.5.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA UN TIEMPO DE 10 AÑOS

Para la respectiva evaluación económica, se determinaron los costos de depreciación de equipos, que influirían en la determinación de costos de producción anuales, se definieron los días laborables para los 10 años de duración del proyecto, con la finalidad de obtener resultados más cercanos a un proyecto real.

Para determinar el valor presente neto tanto como la Tasa Interna de Retorno (TIR), se emplearon las siguientes expresiones matemáticas (Albright, 2008, p. 1292):

Se define el Valor Actual Neto como:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{B-C}{1+r}^t \quad [2.19]$$

En tanto que la tasa interna de retorno (TIR), se define como el interés cuando VAN igual a cero.

2.5.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se analizaron las variables que afectarían la rentabilidad del proyecto, estas variables fueron dos: el volumen de ventas anual y la posibilidad de variación en precios de venta al público, puestas estas dos variables en criterios esperados, optimistas y realistas. (Sinnot, 2014, p. 239)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de la investigación recopilados mediante técnicas e instrumentos de estudios en datos de índole cuantitativos, los cuales se presentaran mediante cuadros estadísticos, gráficos y comparaciones de acuerdo a los objetivos planteados: diseño, localización de una planta para producir pastas de moldeo como Juguetes Lúdicos con capacidad de procesamiento 50 kg día. De acuerdo a los objetivos específicos planteados, se lograron datos de caracterización fisicoquímica mineralógica de pastas Jovi provenientes de España, así como materias primas de las provincias Cotopaxi y Pastaza. De estos resultados por comparación se eligieron las arcillas con las cuales obtener pastas cerámicas de secado al aire. Para obtener juguetes lúdicos (piezas cerámicas rojas), se eligieron minerales de composición cercana al diagrama de rozeboom para ladrillos y tejas.

Los estudios anteriores permitieron la elección de materiales para formulación de mezclas y estudio del efecto de la composición en peso, así como la temperatura para sinterizado, primero para obtención de pastas frescas (cerámica de bizcocho), luego para estudio técnico científico en la producción de juguetes lúdicos (ladrillos y tejas a escala 1:3 aproximadamente). Una vez logrados los resultados óptimos, se diseñó una planta multiproducto, dos líneas de producción: pastas de moldeo y juguetes lúdicos, con una capacidad de procesamiento de 50 kg/h. Los equipos dimensionados fueron a escala laboratorio. La disposición de equipos en planta fue en I, a contracorriente la producción de pastas respecto a los juguetes lúdicos.

Por último, se realizó el estudio de la prefactibilidad económica, para una duración de 10 años. Así como el respectivo análisis de sensibilidad con la finalidad de mejorar los valores de la TIR y VPN o VAN, haciendo uso de tres escenarios: esperado, optimista y pesimista. Se logró una TIR al 19 % así como una recuperación de las inversiones en 5 años. Castigando al proyecto con la reducción de volumen de ventas en juguetes lúdicos, el proyecto se volvió sensible en -100 %, igual manera para el precio de venta al público se tuvo el

mismo efecto. En tanto que cuando se manejaron escenarios optimistas, la TIR subió al 21 % incrementando ventas de juguetes así como al 35 % con el incremento del precio de venta al público en todos los productos.

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA PASTAS DE MOLDEO COMERCIALES Y MATERIALES ARCILLOSOS DE COTOPAXI Y PASTAZA

Se realizaron ensayos de caracterización física en las muestras: Pasta Jovi Blanca, Pasta Jovi Terracota. Arcilla Roja Sigchos, mineral arcilloso La Victoria, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Gris Puyo. Se determinaron densidad real, densidad aparente, porosidad, granulometría, contenido de humedad y color. Los datos obtenidos (densidad real, densidad aparente) fueron tratados con software de apoyo Ms Excel 2010, la repetitibilidad de los ensayos se aseguró mediante empleo de la estadística para presentación de dichos resultados (uso de la media \pm desviación estándar).

La discusión se realizó por comparación con referencias de otros trabajos realizados. En cuanto a los datos de granulometría, la repetitividad de los ensayos para análisis se aseguró mediante el porcentaje de pérdidas inferior al 1 %. Todos los resultados fueron trabajados en tablas así como la respectiva obtención de curvas granulométricas Finalmente, el contenido de humedad se trabajó por estadística (valor de la media \pm desviación estándar) con software de apoyo Ms. Excel 2010. En tanto que los resultados de análisis por color se obtuvieron por comparación con la carta de colores Munsell.

Para confirmar la calidad de los resultados, así como la confiabilidad de los mismos y hasta qué otros contextos se pueden generalizar, se presenta el análisis de validez. Validez interna: Limitaciones a lo largo del fiel cumplimiento del presente objetivo: Cabe citar las demoras en obtener las muestras para desarrollo del proyecto de investigación, así como los instrumentos de análisis en el DEMEX son demasiado antiguos, la falta de colaboración asertiva por parte de la gente del lugar. El método empleado ha sido adecuado, incluso validado en investigaciones

anteriores. Se completó la muestra para los análisis. El instrumental utilizado ha sido parcialmente adecuado, debido a las limitaciones en el DEMEX (demasiado antiguos, no se actualizan). No se ha realizado algún tipo de prueba planta piloto. La investigación presente es válida. Los resultados obtenidos son válidos, así como confiables, ninguno ha sido alterado o acomodado. Validez externa: Se pueden generalizar los análisis realizados en muestras metalúrgicas así como cerámicas. Son aplicables en otros contextos, con otras variables, es decir trabajables con suelos, arcillas, pastas cerámicas. El conocimiento nuevo en estos análisis ayuda a ampliar el rango de aplicaciones. Por ejemplo, el análisis granulométrico hasta entonces aplicable para suelos, es también aplicable para muestras de arcilla, así como fracciones gruesas de pastas cerámicas. Quien desee realizar en aplicaciones cerámicas los análisis aquí realizados, los pueden replicar con mucha facilidad.

3.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA EN PASTAS JOVI Y MATERIAS PRIMAS

En la Tabla 3.1 se presentan los resultados de densidad real, densidad aparente y porosidad en las pastas de moldeo comerciables y de materias primas, estas propiedades fueron medidas de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.1. Para efectos de caracterización de los analitos estudiados, se evaluaron los datos obtenidos por comparación con trabajos realizados en minerales: caolinita, cuarzo así como plagioclasas.

En segundo lugar se realiza la selección de materias primas para análisis del efecto en la composición por peso, en primer lugar respecto a las pastas de moldeo referenciales como lo son Jovi Blanca y Jovi Terracota. De acuerdo al trabajo realizado por Guillén, Bribiesca y Escudero, año 2012, p. 335, la densidad real para un mineral con caolinita es de 2,5 (g/mL), en tanto que para la densidad aparente de acuerdo al trabajo realizado por García, et al, 2005, p. 243 resulta alrededor de 0,87-0,9. Entonces, se ha logrado un valor cercano al bibliográfico en las muestras: pasta Jovi Blanca tanto como Caolín Puyo, cuyos valores son cercanos debido en parte a su composición mineralógica.

Tabla 3.1. Densidad real, densidad aparente, porosidad de pastas Jovi y materias primas

Muestra	Densidad Real (g/mL)	Densidad Aparente (g/mL)	Porosidad %
Pasta Jovi Blanca	2,36 ± 0,13	0,51 ± 0,01	78,39
Pasta Jovi Terracota	2,47 ± 0,05	0,55 ± 0,03	77,73
Arcilla Roja Sigchos	2,48 ± 0,05	0,73 ± 0,00	67,12
Mineral arcilloso “La Victoria”	2,16 ± 0,02	0,89 ± 0,00	63,07
Caolín Puyo	2,22 ± 0,00	1,16 ± 0,00	53,23
Arcilla Verde Puyo	2,41 ± 0,00	0,94 ± 0,00	56,48
Arcilla Gris Puyo	2,63 ± 0,01	1,24 ± 0,00	52,85

$\bar{X} \pm \sigma$ (n=3)

Conforme al trabajo hecho por Mallol, 2005, p. 25, una muestra en su mayoría cuarzo, presenta un rango para la densidad real de 2,00-4,00 en tanto que para la densidad aparente es de 0,87-1,33 (Guzmán, et al, 2013, p. 28). Se podrían caracterizar como muestras que tengan cuarzo, las muestras: Pasta Jovi Blanca, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo. De acuerdo a la investigación realizada por Fort, et al, 2007, p. 150, las muestras con un alto contenido de plagioclasas/feldespatos presentaban una densidad real de 2,66 así como densidad aparente en 2,51. En cuanto a los datos obtenidos, las muestras cercanas a estos valores (probablemente ricas en feldespatos) sería: mineral arcilloso “La Victoria” y Arcilla Gris Puyo.

Entonces para elaboración de pastas frescas a partir de los datos obtenidos en el presente estudio, las materias primas a seleccionarse serían Caolín Puyo y Arcilla Verde Puyo. Por otra parte, tienen propiedades cercanas la Pasta Jovi Terracota vs Arcilla Roja Sigchos. Lo cual permite concluir que para generar mezclas

arcillosas cercanas a la comercial, esta última materia prima es adecuada. En tanto que para la elaboración de juguetes lúdicos, las materias primas a emplearse serían Arcilla Roja Sigchos, así como Arcilla Verde Puyo.

En la Tabla 3.2 se presentan los resultados de caracterización granulométrica en las pastas de moldeo comerciáveis y de materias primas, de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.1.1.

Tabla 3.2. Caracterización granulométrica de Pastas Jovi y materias primas




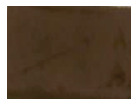
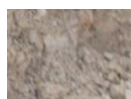
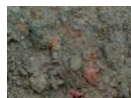

Muestra	d₈₀ (µm)	Coefficiente de uniformidad	Coefficiente de curvatura
Pasta Jovi Blanca	543	5,72	1,67
Pasta Jovi Terracota	634	7,61	1,47
Caolín Puyo	653	5,93	1,32
Arcilla Verde Puyo	678	Sin Valor	Sin Valor
Arcilla Roja Sigchos	678	5,83	0,79
Mineral arcilloso “La Victoria”	649	6,30	0,92
Arcilla Gris Puyo	154	1,82	1,09

Conforme al d₈₀, de las pastas Jovi hasta mineral arcilloso “La Victoria” se caracterizan como arenas gruesas, en tanto que para Gris Puyo se caracteriza como arena fina. Las muestras analizadas por granulometría presentaron un tamaño de partícula uniforme. (Baltuille, 2007, p. 182). Para análisis del coeficiente de uniformidad, se considera la muestra arcilla Gris Puyo como arenas sueltas muy uniformes (esto implica que el coeficiente de uniformidad es inferior a 2) en tanto que las muestras anteriores se caracterizan como uniformes onduladas.

En tanto que respecto al coeficiente de curvatura, todos los datos obtenidos durante los ensayos, se encuentran en el rango $1 < C_c < 3$. Lo cual permite caracterizar a los analitos como uniformes en el diámetro de sus partículas. (Florez, 2016, p. 9; Crespo, 2004, p.51).

En la Tabla 3.3, se presentan los resultados de contenido de humedad y color en las pastas de moldeo comerciales y de materias primas, de acuerdo a la metodología expuesta en la sección 2.1.1., 2.1.1.5. y 2.1.1.6.

Tabla 3.3. Contenido de humedad y color de pastas Jovi y Materias primas

Muestra	Contenido de Humedad (%)	Color Seco	Color Húmedo	Fotografía
Pasta Jovi Blanca	49,34 ± 3,64	Blanco Grisáceo (Hue N 8/0)	Blanco Grisáceo (Hue N 8/0)	
Pasta Jovi Terracota	49,25 ± 0,00	Anaranjado (Hue 2,5 YR 6/6)	Anaranjado (Hue 2,5 YR 7/4)	
Arcilla Roja Sigchos	1,32 ± 0,45	Marrón Rojizo (Hue 5 YR Apagado 4/3)	Rojizo (Hue 5 YR 3/3)	
Mineral arcilloso “La Victoria”	6,42 ± 0,08	Gris Azul Claro (Hue 5PB 7/1)	Oliva (Hue 5 Y 5/6)	
Caolín Puyo	6,25 ± 0,14	Claro (Hue 7,5 YR 8/1)	Amarillo Naranja Mate (Hue 10 YR 7/2)	
Arcilla Verde Puyo	3,02 ± 0,06	Marrón Rojizo (Hue 10 YR 4/3)	Oscuro (Hue 7,5 YR 3/2)	
Arcilla Gris Puyo	0,97 ± 0,03	Gris Claro (Hue 2,5 Y 8/2)	Amarillo Grisáceo (Hue 2,5 YR 7/2)	

$\bar{X} \pm \sigma$ (n=3)

Las pastas de moldeo comerciales, tuvieron un contenido de humedad alto, en el caso de las materias primas, su contenido de humedad fue bajo esto podría deberse a que son extraídas de cada yacimiento directamente. En minerales arcillosos los contenidos de humedad suelen estar alrededor del 6 % (Vitorino, et al, 2014, p. 317) acuerdo a las pastas empleadas como referente, la humedad a que se elaborarían en principio las pastas frescas, estaría entre 49,34-49,25 %, es decir, un alto contenido de agua. Concuera con lo expuesto en el sustento

teórico que las pastas de moldeado suelen tener humedad entre 45-55 %. Para selección de materias primas de acuerdo al color: En cuanto al color de las pastas de moldeo comerciales, cuando estaban húmedas, su tonalidad era más oscura a cuando estaban secas, la pasta de moldeo blanca, presentó un color blanco grisáceo, en tanto que la pasta de moldeo terracota, presentó un color anaranjado. (Petelinsek, 2014, p. 14).

De igual manera para las materias primas, el color se intensificó cuando estaban húmedas, Caolín Puyo, presentó una tonalidad clara, característica de un alto contenido de caolinita en el material, la arcilla Verde Puyo, presentó una tonalidad verdosa, esta arcilla se podría usar para obtener la pasta de moldeo similar a la pasta blanca comercial. (Diko, et al, 2011, p. 382).

En cuanto a la arcilla Roja Sigchos y mineral arcilloso “La Victoria”, estas materias primas presentaron color rojo café, esto indica la posible presencia de óxidos de hierro y titanio; por último la arcilla Gris Puyo, presentó una tonalidad gris, esta arcilla junto a la arcilla Roja Sigchos podrían utilizarse para obtener la pasta de moldeo similar a la pasta de moldeo terracota comercial. (Molera, et al, 1998, p. 189).

3.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE ARCILLAS

Las propiedades químicas analizadas en el presente trabajo fueron el contenido de elementos químicos Silicio, Auminio, Calcio, Magnesio, Hierro, Potasio, Antimonio, Titanio, Manganeso y Sodio, tanto en pastas de moldeo Jovi como en materias primas, mediante espectrofotometría de Absorción Atómica, cuantificación de elementos con el software Winlab, además se midió el pH por potenciometría.

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados del contenido de elementos químicos en las pastas de moldeo comerciales, de acuerdo a la metodología expresada en la sección 2.1.2.

Tabla 3.4. Contenido de elementos químicos en pastas Jovi

Elemento	Símbolo	Pasta Jovi Blanca	Pasta Jovi Terracota
		Contenido %	Contenido %
Silicio	Si	31,72	28,86
Aluminio	Al	22,53	18,94
Calcio	Ca	25,21	37,19
Magnesio	Mg	15,70	5,83
Hierro	Fe	1,85	5,41
Potasio	K	1,51	1,47
Antimonio	Sb	0,53	0,51
Titanio	Ti	0,28	0,34

De acuerdo a los datos obtenidos de la caracterización química en cuanto a los elementos químicos cuantificados, la Pasta Jovi Blanca, presenta un alto de contenido de Aluminio, Silicio, favoreciendo el contenido mineralógico de caolinita. En conclusión, para producir pastas frescas similares o de mejor calidad, las materias primas han de tener caolinita en su composición mineralógica, en tanto que para el análisis químico, deben tener principalmente Aluminio-Silicio. (Castellanos, 2006, p.7).

El análisis químico efectuado a la Pasta Jovi Terracota, arrojó los siguientes datos: alto contenido de Silicio-Aluminio-Calcio, lo cual indicaría probablemente, la presencia de minerales de forma principal: Caolinita, Cuarzo, tanto como Calcita. Estos resultados se complementarían con los obtenidos del análisis mineralógico. Por lo pronto, las materias primas a seleccionarse para producir pastas de características similares o mejores a las comerciales, han de presentar en sus resultados de análisis químico, los elementos hallados en estos ensayos. (Papadopoulou, et al, 2006, p. 1696).

Las pastas de moldeo Jovi provenientes de España, sirven de referencia para la composición de las pastas a producir. Es decir, que las materias primas a seleccionarse han de tener composiciones de elementos químicos: Silicio, Aluminio, Calcio, Magnesio, Hierro, Potasio, Fósforo, Antimonio, Titanio, Azufre afines o cercanas a las que presentan los analitos evaluados. Las materias primas

arcillosas a ser evaluadas químicamente, provenientes de las provincias de Cotopaxi y Pastaza se presentan. En tanto que para producir juguetes lúdicos se realizó por referencia bibliográfica.

De los datos obtenidos en el análisis químico de materias primas, se pudo seleccionar para producir pastas de moldeo las siguientes muestras: Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Gris Puyo. Las pastas tanto blanca como terracota tendrían en común el contenido de caolinita (Sílice, Aluminio), lo cual implica una alta plasticidad, es decir, las pastas a obtenerse resultarían fáciles de extruir o conformar. (Bartolomé, 1997, p.10). La Tabla 3.5 presenta los resultados de análisis por absorción atómica realizados a materias primas, de acuerdo a la metodología manifestada en la sección 2.1.2.

Tabla 3.5. Contenido de elementos químicos en materias primas

Elemento	Símbolo	Arcilla Roja Sigchos	Mineral arcilloso "La Victoria"	Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
		Contenido %				
Silicio	Si	53,49	58,72	40,82	45,19	52,85
Aluminio	Al	16,19	16,02	39,98	25,48	22,61
Calcio	Ca	3,00	4,34	0,50	0,61	0,45
Magnesio	Mg	13,44	10,09	15,02	1,13	1,47
Hierro	Fe	10,60	7,87	1,00	17,00	12,85
Potasio	K	1,95	1,98	< 0,10	5,39	4,41
Antimonio	Sb	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,29	0,30
Titanio	Ti	0,97	0,82	2,68	4,54	4,68
Manganeso	Mn	0,16	0,15	< 0,10	0,09	0,09
Sodio	Na	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,26	0,27

Para elaborar juguetes a escala (ladrillos, tejas), las materias primas a emplearse serían: mineral arcilloso "La Victoria", Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Gris Puyo. De acuerdo a lo requerido representado en el diagrama de las pastas triaxiales, en la región ladrillos y tejas, se requieren materias primas que

tengan en mayor cantidad: Sílice (Cuarzo), Arcilla (Caolinita) y Feldespatos (Plagioclasas: grupo albita, andesina, anortita). (Hammer, Hammer, 2004, p. 129).

Los resultados del análisis de pH a pastas comerciables y materias primas se presentan en la Tabla 3.6, de acuerdo a la metodología especificada en la sección 2.1.2. Respecto al pH de pastas de moldeo comerciables, estos resultados fueron ácidos, esto se debe a la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas presentes en estas pastas, los aniones con enlaces más débiles que se desprenderían de las estructuras y se disolverían en el agua, resultando una carga total negativa. (Ferrari, Moreno y Lange, 2000, p. 231).

Tabla 3.6. pH de Pastas comerciables y materias primas

Muestra	pH
Pasta Jovi Blanca	4,18
Pasta Jovi Terracota	5,95
Arcilla Roja Sigchos	7,21
Mineral arcilloso “La Victoria”	6,55
Caolín Puyo	4,18
Arcilla Verde Puyo	5,93
Arcilla Gris Puyo	6,77

En cuanto al pH de materias primas, para Caolín Puyo y Arcilla Verde Puyo los resultados fueron ácidos, en tanto que para el resto de materias primas, el pH resultó ser más cercano al neutro. (Fonseca, Barba, Callejas, Recio, 2012, p. 253). El valor de pH en la Pasta Jovi Blanca resulta idéntico al de la muestra Caolín Puyo, en conclusión, la muestra caolinítica es materia prima para elaboración de pastas frías.

3.1.3 PROPIEDADES MINERALÓGICAS DE PASTAS JOVI Y MATERIAS PRIMAS

Se realizaron análisis de composición mineralógica por difracción tanto a pastas de moldeo comerciables como a materias primas (polvos sueltos, obtención de

agregados orientados) así como análisis de estructura por toma de microfotografías en el equipo microscopía electrónica de barrido (MEB). Los resultados de estos ensayos de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.3., se detallan en el siguiente ítem. La composición mineralógica de las pastas Jovi se presentan en la Tabla 3.7., de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.2.3.

Tabla 3.7. Composición mineralógica de Pastas Jovi

Mineral	Fórmula	Pasta Jovi Blanca	Pasta Jovi Terracota
		Contenido %	
Cuarzo	SiO ₂	30	2
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	67	63
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	3	5
Calcita	CaCO ₃	< 1	30

La composición mineralógica de las pastas comerciales, sirve de patrón para selección de materias primas. La pasta Jovi Blanca tuvo un contenido de sílice como antiplástico alto respecto a la Jovi Terracota. De acuerdo al criterio de Kuzmickas, et al, 2013, p. 347, el contenido es propio de materiales cerámicos.

En tanto que el contenido de caolinita fue similar en ambas pastas de moldeo. Conforme a la literatura de Guzmán, 2014, p. 56, se presentan valores cercanos para cerámicas los cuales son altos. Tanto para la pasta Jovi Blanca como la Terracota se tuvieron valores cercanos de muscovita lo que confirmó la presencia de Potasio, Aluminio y Silicio mediante el análisis químico realizado previamente. Con respecto al trabajo de Durán, et al, 2014, p. 282, los resultados se parecen tratándose de muestras análogas.

Para la pasta Jovi Terracota se tuvo un contenido de calcita de un 30 % esto confirma la presencia de calcita obtenida en el análisis químico de las pastas de moldeo. En comparación con el trabajo de Barrios, Navas, López-Palomo, Montealegre, 1991, p. 190, los contenidos de calcita se asemejan debido a la naturaleza de las muestras analizadas, logrando resultados aceptables. En

conclusión, se confirma el contenido de caolinita a requerirse en las materias primas, para obtención de pastas frescas.

La Tabla 3.8 presenta los resultados de la composición mineralógica de materias primas, de acuerdo a la metodología expresada en la sección 2.2.3.

Tabla 3.8. Composición mineralógica de materias primas

Mineral	Fórmula	Arcilla Roja Sigchos	Mineral arcilloso "La Victoria"	Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
		Contenido %				
Cuarzo	SiO ₂	40	4	5	44	47
Grupo plagioclasa (albita, andesina, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	27	53	8	12	15
Montmorillonita (Grupo esmectitas)	(Al,Mg,Na)(OH) ₂ Si ₄ O ₁₀ .4H ₂ O	< 1	< 1	13	6	5
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	18	25	55	22	20
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	4	3	4	8	6
Gibbsita	Al(OH) ₃	2	< 1	6	< 1	< 1
Cordierita	Mg ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	< 1	3	< 1	< 1	< 1
Plogopita	K(Mg,Fe)3Si3AlO10(F,OH)2	< 1	< 1	2	< 1	2
Enstatita	Mg ₂ Si ₂ O ₆	< 1	4	< 1	< 1	< 1
Clinocloro	(Mg,Fe) ₅ Al(SiAl) ₄ ^o ₁₀ (OH) ₈	5	< 1	4	8	5
Diopside	CaMgSi ₂ O ₆	< 1	3	< 1	< 1	< 1
Halloysita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ .H ₂ O	2	< 1	3	< 1	< 1
Pargasita	Na ₂ Ca ₂ (Mg,Fe) ₄ Al ₃ Si ₆ O ₂₂ (OH) ₂	< 1	3	< 1	< 1	< 1
Hematita	Fe ₂ O ₃	2	< 1	< 1	< 1	< 1

El contenido de óxido de silicio en las materias primas arcilla Verde Puyo, arcilla Roja Sigchos, Gris Puyo fue similar, en tanto que para el Caolín Puyo el valor fue cercano al que tuvo la pasta Jovi Terracota, por lo que este último resultaría ser una buena materia prima para las pastas de moldeo. Con un contenido de sílice del 40 %, de acuerdo al diagrama tri axial Rozeboom, la Arcilla Roja Sigchos resultó ser materia prima para elaboración de ladrillos y tejas. (Gomez, et al.,

2005, p. 338). En cuanto al contenido de plagioclasas, Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Gris Puyo tuvieron composiciones similares, en tanto que arcilla Roja Sigchos y mineral arcilloso “La Victoria” tiene una ligera cantidad superior a las otras materias primas lo que le otorga capacidad fundente en la quema de piezas en cerámica roja. (Vian, 2006, p.182).

Por otra parte, en esta primera lectura, fueron probables tres minerales para agregados orientados: Montmorillonita, Caolinita y Muscovita. La Tabla 3.9 presenta el análisis para Muscovita.

Tabla 3.9. Análisis de Montmorillonita

Tipo de preparación en las muestras	Resultado Teórico d Å	Discusión de resultados mediante observaciones en los difractogramas		
		Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
Muestra Original	d (060) cerca de 1.5 Å (Moraes, et al, 2010, p. 477)	Si	Si	Si
Homoionizado con K+ Secado al aire	Colapsa a 12 Å (Nelson, 2015, p. 139)	Si	Si	Si
Saturado con Mg++ Secado al aire	Expande 14-15 Å (Nelson, 2015, p. 139)	Si	Si	Si
Saturado con K+ Calcinado a 550 ° C	Colapsa a 10 Å (Nelson, 2015, p. 139)	Si	Si	Si
Saturado con Mg++ Solvatación en etilenglicol	Se expande a 17 Å (Nelson, 2015, p. 139)	Si	Si	Si
Resultado	Montmorillonita	Si	Si	Si

Del análisis realizado, los minerales que presentaron montmorillonita fueron: Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Gris Puyo. Se pueden revisar los difractogramas en el ANEXO II. Los resultados encajan con las literaturas de Moraes, et al, 2010, p. 477; Nelson, 2015, p. 139, esto se debe al correcto análisis por agregados orientados realizado en la metodología (se habla de un método

que ha sido validado con anterioridad) otra ventaja es la sencillez para preparar los agregados orientados y conseguir resultados fiables.

La Figura 3.1, presenta el difractograma de la muestra arcilla verde Puyo, homoionizada con Mg, secado al aire. Se puede ver el espacio basal que concuerda al resultado bibliográfico si se realiza sobre el analito tal procedimiento. Para comprobar el mineral, se debe cumplir con toda la secuencia.

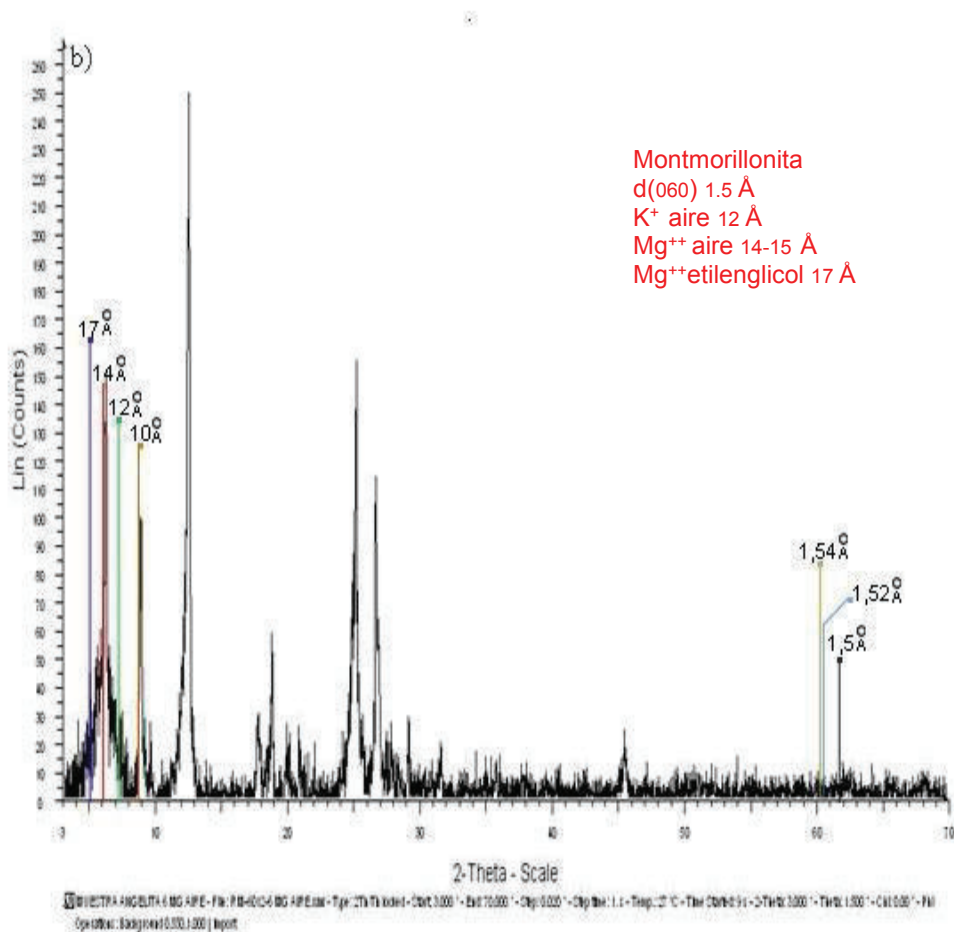


Figura 3.1. Difractograma correspondiente a la muestra Arcilla Verde Puyo saturada con MgCl: secado al aire

Caracterización de caolinita. Para análisis de las muestras tratadas por agregados orientados se presenta difractograma correspondiente a la muestra Arcilla Roja Sigchos. Los resultados de la caracterización se presentan en la Tabla 3.10.

En efecto, teniendo en cuenta el trabajo realizado por Dudek, et al, 2006, pp. 161-162, que de acuerdo a la Ley de Bragg se procede a identificar fracciones de Caolinita en las muestras que han sido preparadas por obtención de agregados orientados.

Tabla 3.10. Análisis de Caolinita

Tipo de preparación en las muestras	Resultado Teórico d Å	Discusión de resultados mediante observaciones en los difractogramas			
		Arcilla Roja Sigchos	Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
Muestra Original	d (060) cerca de 1.49 Å (Dudek, et al, 2006, p. 162)	Si	Si	Si	Si
Homoionizado con K ⁺ Secado al aire	Expande a 7 Å (Dudek, et al, 2006, p. 161)	Si	Si	Si	Si
Saturado con K ⁺ Calcinado a 550 ° C	Colapsa, desaparece (Dudek, et al, 2006, p. 161)	Si	Si	Si	Si
Saturado con Mg ⁺⁺ Solvatación en etilenglicol	Expande hasta 7 Å (Dudek, et al, 2006, p. 161)	Si	Si	Si	Si
Resultado	Caolinita	Si	Si	Si	Si

El análisis individual de los difractogramas puede revisarse en el ANEXO II del presente trabajo. Todas las muestras presentaron caolinita, correspondiendo los resultados con los obtenidos por lectura inicial en la Tabla 3.8. La Figura 3.2, presenta el difractograma obtenido para la muestra Arcilla Roja Sigchos, la cual ha sido homogeneizada en potasio así como secada al aire, en efecto al realizarse este paso, el pico de 7 Å es evidente, cumpliendo así con los criterios esperados para análisis de Caolinita en materiales de arcilla.

El tercer mineral probablemente encontrado en las muestras arcillosas sería muscovita, perteneciente al grupo de las illitas. Para tal análisis se muestra el difractograma obtenidos de la muestra arcilla Gris Puyo.

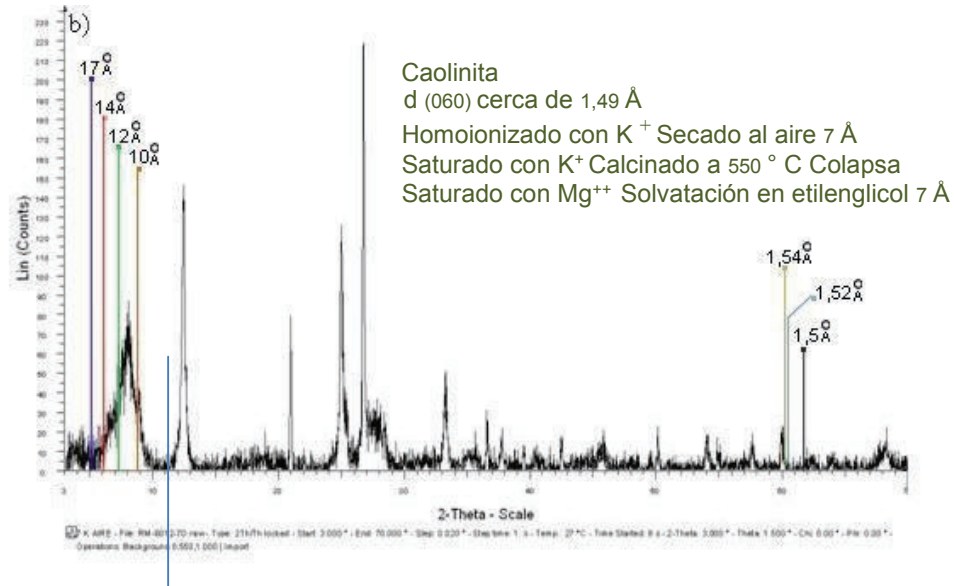


Figura 3.2. Arcilla Roja Sigchos, muestra homoionizada en potasio secado al aire

En la Tabla 3.11, se presentan los resultados de la lectura de mineral muscovita.

Tabla 3.11. Análisis de Muscovita

Tipo de preparación en las muestras	Resultado Teórico d Å	Discusión de resultados mediante observaciones en los difractogramas			
		Arcilla Roja Sigchos	Caolín Puyo	Arcilla Verde Puyo	Arcilla Gris Puyo
Muestra Original	d (060) cerca de 1.52 Å)	Si	Si	Si	Si
Homoionizado con K ⁺ Secado al aire	Se expande 9,1-10 Å	Si	Si	Si	Si
Saturado con Mg ⁺⁺ Secado al aire	Mantiene a 10 Å	Si	Si	Si	Si
Saturado con K ⁺ Calcinado a 550 ° C	Constante espacio basal de 10 Å)	Si	Si	Si	Si
Saturado con Mg ⁺⁺ Solvatación en etilenglicol	Pico característico de 10 Å	Si	Si	Si	Si
Resultado	Muscovita	Si	Si	Si	Si

Con respecto a la literatura de Marosvölgyi, 2009, p. 16, la muestra analizada sin realizar ningún tratamiento contiene Muscovita, con respecto a la lectura randómica de minerales. Se lograron resultados similares a los obtenidos en el estudio realizado por Khnormali, et al, 2015, p. 36 en efecto son válidos para análisis de muscovita. Las muestras analizadas presentaron el mineral.

La Figura 3.3 muestra el difractograma correspondiente al analito Arcilla Gris Puyo homoionizada con Magnesio, solvatada en etilenglicol, este difractograma permite presenciar el pico resuelto de 10 Å obtenido luego de haber sometido al tratamiento a la muestra original o randómica. Los difractogramas restantes se pueden apreciar en el ANEXO II.

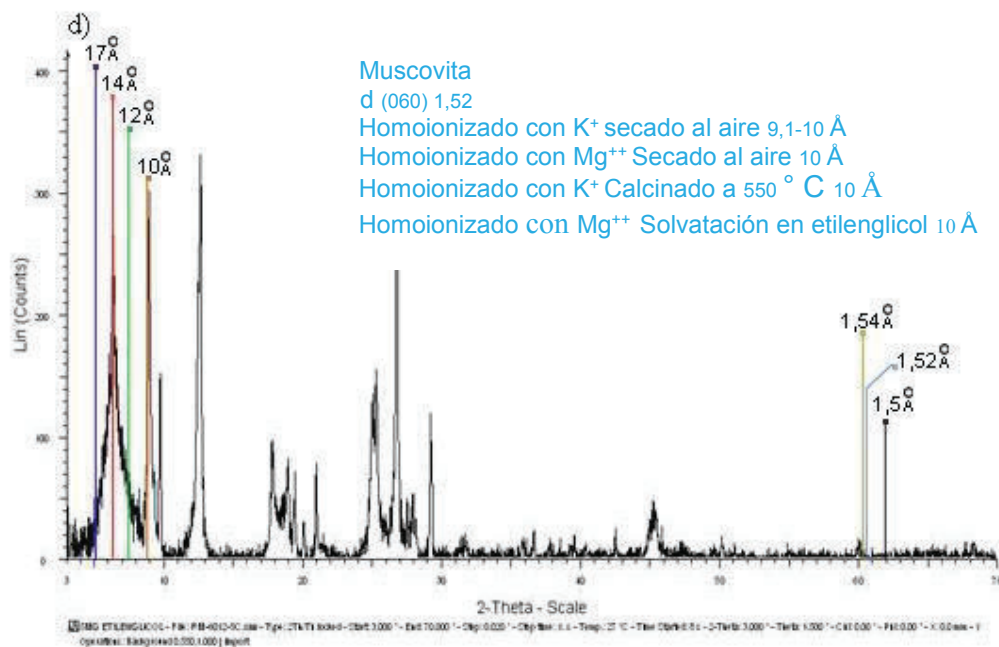


Figura 3.3. Arcilla Gris Puyo, homoionizado con magnesio solvatación en etilenglicol

Los resultados del análisis de la estructura de pastas de moldeo Jovi y materias primas mediante microscopía electrónica de barrido, toma de microfotografías a 100X y 1000 X con uso del software Spirit 1.8, de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.1.3.2 se presentan. La Figura 3.4, presenta los

resultados del análisis de estructura para la pasta Jovi blanca por medio de microscopía electrónica de barrido (MEB), de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.3., la siguiente Figura presenta la estructura superficial de la muestra analizada a 100x (Figura a), y 1000x (Figura b). La pasta Jovi Blanca presentó, con un aumento a 100X, unas estructuras en forma de hilos, que resultaron ser aglomerante a base de celulosa, además se pudo observar la cadena de celulosa ampliada en donde se encontró un alto contenido de Calcio, esto por la unión de carbonato de calcio a la cadena celulósica, mediante intercambio iónico. Coincide con lo descrito por Rusina, et, al, 2012, p.172, que en efecto las arcillas están contenidas-retenidas en fibras de celulosa.

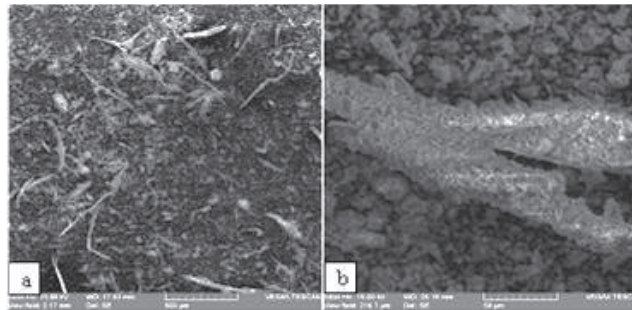


Figura 3.4. Microfotografía electrónica de barrido Pasta Jovi Blanca (a) 100X b) 1000X)

La Figura 3.5, presenta los resultados del análisis de estructura para la pasta Jovi terracota por microscopía electrónica de barrido (MEB), de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.3. La estructura de la Pasta Jovi Terracota presentó, a 100X de aumento en el microscopio electrónico, la presencia de fibras aglomerantes de cadena larga de tipo celulósico, estos aglomerantes, se unen a las estructuras de las arcillas, debido a la capacidad de intercambio iónico de las arcillas, produciendo una inmovilización en las células del aglomerante. Además que la muestra presenta porosidad, característica al estar en contacto con tal componente (Sutcu, Akkurt, 2010, p. 1789). A 1000X de aumento, se pudo ver la presencia de filosilicatos, las hojas de cada estructura superpuesta sobre otra, en estas pastas.

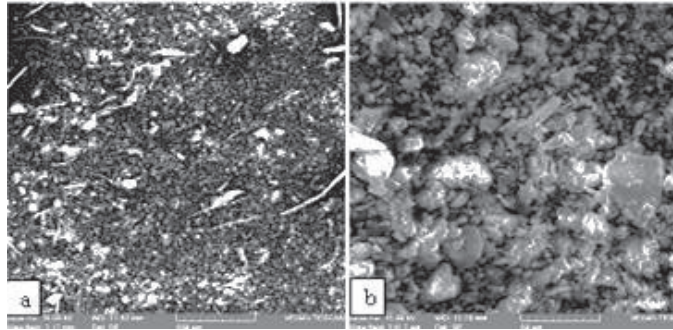


Figura 3.5. Microfotografía electrónica de barrido Pasta Jovi Terracota (a) 100X b) 1000X)

La Figura 3.6, presenta los resultados del análisis de estructura por microscopía electrónica de barrido (MEB) para la muestra Arcilla Roja Sigchos de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.3. La estructura de la Arcilla Roja Sigchos posee cuarzo, se corresponde con el análisis realizado por difracción de rayos X, puede observarse morfología del tipo redonda-circular, característica de este mineral. (Mihaiu, et al, 2015, p. 4942).

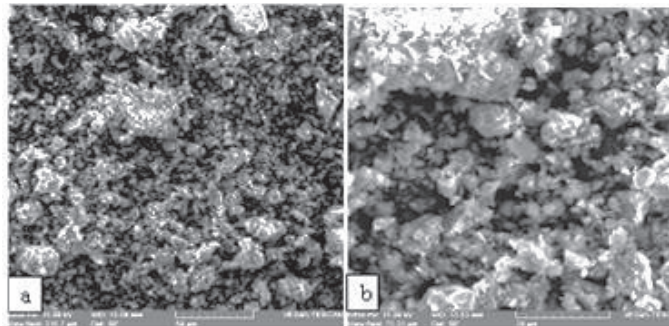


Figura 3.6. Microfotografía electrónica de barrido Arcilla Roja Sigchos (a) 1000X b) 3000X)

La Figura 3.7 a, presenta los resultados del análisis de estructura por microscopía electrónica de barrido (MEB) para la muestra mineral arcilloso “La Victoria” de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.1.3. El mineral arcilloso “La Victoria” tiene estructuras de grueso tamaño y mediana porosidad, en la Figura 3.7 (b) se puede ver la grosura de la partícula tal como se caracterizó por granulometría como arena gruesa.

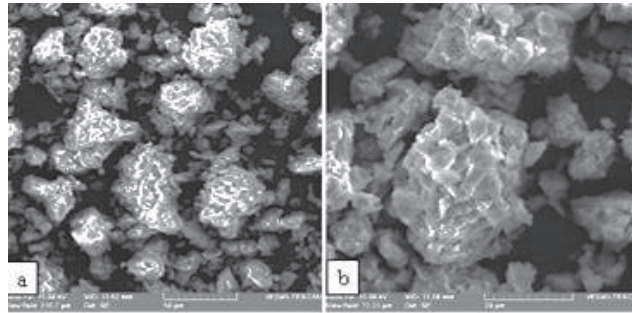


Figura 3.7. Microfotografía electrónica de barrido mineral arcilloso “La Victoria” (a) 1000X b) 3000X)

Con respecto a la literatura de Lázaro, et al, 2012, p. 140, las morfologías que se presentan no guardarían relación en caso de presentar feldespatos, aparentemente los resultados no se corresponden con los obtenidos por Difracción, podría deberse a la muestra (parte de la población que debería cumplir con las mismas características que la muestra total, para que los resultados se correspondan, es decir la representatividad).

La Figura 3.8, presenta los resultados del análisis de estructura por microscopía electrónica de barrido (MEB) para Caolín Puyo de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.3. La estructura de Caolín Puyo a 1000X de aumento en el equipo de MEB, muestra alta porosidad como se presentó en la densidad real y aparente, en tanto que a 3000X presenta láminas de tamaño uniforme, como se analizó por granulometría. (Rodríguez, Valero y Maqueda, 1996, p. 33).

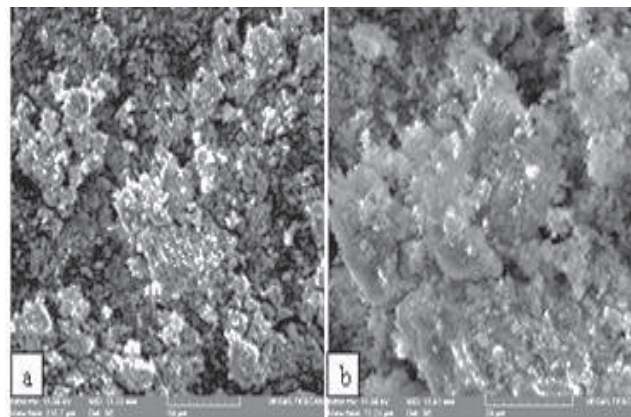


Figura 3.8. Microfotografía electrónica de barrido Caolín Puyo (a) 1000X b) 3000X)

La Figura 3.9, presenta los resultados del análisis de estructura por microscopía electrónica de barrido (MEB) para la muestra Arcilla Verde Puyo de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.3.

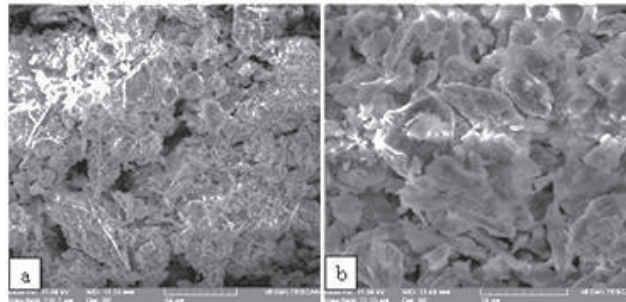


Figura 3.9. Micrografía electrónica de barrido Arcilla Verde Puyo (a) 1000X b) 3000X)

La estructura interna de la arcilla Verde Puyo, tiene alta porosidad como se midió en la densidad real y aparente, es decir que los ensayos se corresponden. Posee morfologías cercanas a feldespatos, en conclusión la cantidad de muestra analizada resulta representativa haciendo que los resultados se correspondan a los obtenidos por DRX. (Akinmosin, 2001, p. 7). La Figura 3.10, presenta los resultados del análisis de estructura por microscopía electrónica de barrido (MEB) para la muestra Arcilla Gris Puyo de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.3. La Arcilla Gris Puyo presenta estructuras grandes que son plagioclasas (feldespatos). Estos resultados se corresponden con los obtenidos por difracción en comparación con la literatura De la fuente, Kristcautzky, Toseli, Riveros, 2005, p. 67, los minerales en función de sus morfologías se encuentran en las microfotografías.

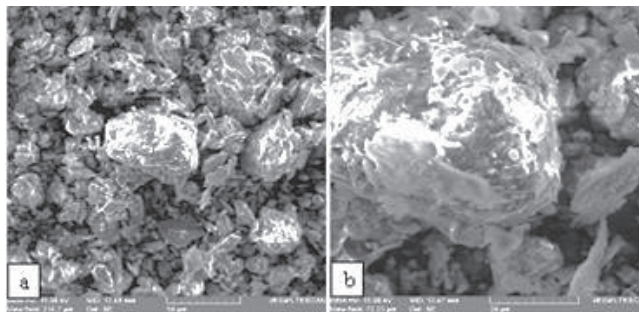


Figura 3.10. Microfotografía electrónica de barrido Arcilla Gris Puyo (a) 1000X b) 3000X)

Contraste de hipótesis: De acuerdo al objetivo, caracterización físico, química y mineralógica de pastas de moldeo comerciales y materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza, se analiza el cumplimiento del mismo, en función de los resultados obtenidos, así como el planteamiento de nuevas hipótesis para trabajos futuros.

Tabla 3.12. Contraste de hipótesis caracterización físico, química y mineralógica de pastas de moldeo comerciables y materiales arcillosos de Cotopaxi Pastaza

	Ho Verdadera	Ho Falsa
Acepta	Se acepta totalmente por que se caracterizaron fisicoquímica-mineralógicamente pastas jovi así como materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza	
Rechaza		

3.2 FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PASTAS ARCILLOSAS PARA MOLDEO

Los resultados de los ensayos preliminares a la obtención de las pastas frescas se encuentran en el ANEXO III; las materias primas fueron seleccionadas en comparación de todas sus propiedades, físicas químicas tanto como mineralógicas respecto a las pastas Jovi provenientes de España. Una vez determinadas las materias primas a emplearse, se analizó el efecto de la composición porcentual sobre las mezclas, con la finalidad de optimizarlas. Se empleó la densidad aparente (Bulk) para establecer la mezcla que tenga menor densidad, y que guardara relación respecto a las Pastas Jovi que al final resulte más económica de elaborar, debido al bajo contenido de arcillas. De estos resultados, se realizó la medición mineralógica por DRX, en donde se replanteó la composición de materias primas de la siguiente manera: para obtener el resultado requerido, las mezclas requerían tener un contenido de minerales, con un rango similar al de las pastas referenciales.

Las pastas una vez alcanzadas los valores planteados, fueron analizadas por sus propiedades: físicas (densidad real, densidad aparente y porosidad), (densidad aparente Bulk y Color en Húmedo de Pastas frescas); propiedades químicas

(contenido de elementos químicos: Silicio, Aluminio, Calcio, Hierro, Sodio); así como el pH. Los datos obtenidos se trabajaron con software de apoyo Ms, Excel 2010. Adicional se midió la composición mineralógica en Pastas de Moldeo Óptimas. También se midieron las propiedades plásticas en las pastas obtenidas: Plasticidad, mediante ensayos de Pfefferkorn, así como los límites de Atterberg: límite líquido y límite plástico.

Para confirmar la calidad de los resultados, así como la confiabilidad de los mismos y hasta qué otros contextos se pueden generalizar, se presenta el análisis de validez. Validez interna: Limitaciones a lo largo de la investigación: la escasa colaboración del gente en La Victoria-Pujilí, en prestar las arcillas para los respectivos análisis, esto ocurre porque son celosos con su trabajo. Así como la impuntualidad en la entrega de resultados y al realizar las visitas al lugar de planteamiento del problema.

Por otra parte la instrumentación del Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) es demasiado antigua, muflas en estado de oxidación, lo cual hubo que cuidar no contaminase las muestras. Se completó la cantidad de muestra para los análisis requeridos. Fue adecuado el instrumental empleado. No se ha escalado a planta piloto. La investigación es válida. Se obtuvieron resultados válidos así como confiables, no han sido alterados ni acomodados, peor aún plagiados, lo que aporta con conocimiento nuevo para su respectiva discusión, así como requiera mejorarse en otros estudios.

Validez externa: Se pueden generalizar los resultados: de acuerdo al análisis de color empleando carta de munsell es aplicable a muestras geológicas, de suelos. Con respecto a la difracción es muy general el método, aplicable a analitos de distinta naturaleza (biológicos, químicas, geológicas), en tanto que los ensayos de pfefferekorn tienen la limitante a solo muestras cerámicas (extrudabilidad), así como los límites de Atterberg.

Por lo tanto quien desee replicar los análisis de laboratorio, los puede hacer con total facilidad.

3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE PASTAS FRESCAS

En la Tabla 3.13 se presentan los resultados del análisis de la densidad aparente en los cuerpos cerámicos y de color de acuerdo a la metodología explicada en las secciones 2.2.3 y 2.1.1.

Lo obtenido de acuerdo a la densidad Bulk, es que las pastas elaboradas en laboratorio, son parecidas a las Pastas Jovi, así como en el color guardan estrecha relación las tonalidades.

La densidad aparente para cada pasta fue baja la cual servirá para el balance de masas en la máquina extrusora, en tanto que el color final de los productos presentó una mayor tonalidad oscura en comparación a las pastas Jovi.

Tabla 3.13. Densidad aparente (Bulk) y Color en Húmedo de Pastas Frescas

Muestra	Densidad Aparente (Bulk) (g/cm ³)	Color Húmedo
Pasta de Moldeo Blanca	1,92	Gris Claro (Hue 10 YR 8/1)
Pasta Jovi Blanca	1,96	Gris Claro (Hue N8/0)
Pasta de Moldeo Terracota	1,98	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
Pasta Jovi Terracota	1,93	Anaranjado (Hue 2,5 YR)

La Tabla 3.14 muestra los resultados de densidad real, densidad aparente y porosidad de las pastas de moldeo con propiedades similares a las comerciales de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.1.

Tabla 3.14. Densidad Real, Densidad Aparente y Porosidad en Pastas Frescas

Muestra	Densidad Real (g/ml)	Densidad Aparente (g/ml)	Porosidad %
Pasta de Moldeo Blanca	2,51 ± 0,07	0,61 ± 0,03	75,60
Pasta Jovi Blanca	2,36 ± 0,13	0,51 ± 0,01	78,39
Pasta de Moldeo Terracota	2,46 ± 0,05	0,71 ± 0,04	71,14
Pasta Jovi Terracota	2,47 ± 0,05	0,55 ± 0,03	77,73

$\bar{x} \pm \sigma$ (n=3)

Los valores de la densidad real fueron similares a los de las pastas de moldeo comerciales las cuales se tomaron como referencia para los análisis; en tanto que la densidad aparente de las pastas de moldeo óptimas fue de las pastas analizadas en un principio mayor y por último la porosidad fue similar a la que tienen las Pastas Jovi. En relación con el criterio de Villora, Callejas, Barba, 2004. p. 77, los valores son similares estos se deben al grado de compactación en las partículas.

3.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE PASTAS FRESCAS

Se analizaron las propiedades químicas tales como el contenido de elementos químicos y pH de las pastas de moldeo con propiedades similares a las pastas Jovi. El contenido de elementos químicos se determinó por lectura en el equipo de absorción atómica de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.2. El pH en las pastas de moldeo se efectuó de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.1.2.2 La Tabla 3.15 muestra los resultados del análisis del contenido de elementos químicos presentes en las pastas de moldeo con propiedades similares a las pastas Jovi analizadas en un principio.

Tabla 3.15. Contenido de elementos químicos en pastas de moldeo óptimas

Elemento	Símbolo	Pasta de Moldeo Blanca	Pasta Jovi Blanca	Pasta de Moldeo Terracota	Pasta Jovi Terracota
		Contenido %	Contenido %	Contenido %	Contenido %
Silicio	Si	37,63	31,72	39,09	28,86
Aluminio	Al	41,88	22,53	38,14	18,94
Calcio	Ca	19,95	25,21	19,59	37,19
Magnesio	Mg		15,7		5,83
Hierro	Fe	< 0,10	1,85	2,74	5,41
Sodio	Na	0,54		0,43	
Potasio	K		1,51		1,47
Antimonio	Sb		0,53		0,51
Titanio	Ti		0,28		0,34

Como se puede ver en la Tabla 3.15., las pastas de moldeo tuvieron alto contenido de aluminio y silicio lo que indica una cantidad alta de arcillas, por tanto bastante plasticidad. El contenido de hierro en la pasta de moldeo terracota indica la tonalidad rojiza de la misma. En comparación con literatura de López, et al., 2005, p. 377, los valores se asemejan debido a la naturaleza de las materias primas analizadas, en conclusión se valida el método empleado.

Con respecto a las pastas comerciales como referencia se tienen resultados que difieren, así en el caso de pastas tonalidad blanca, el contenido de Silicio se acerca en un 85% al de las comerciales, siguiendo con la comparativa, en cuanto al elemento Aluminio, se duplica en los resultados obtenidos en laboratorio lo que implica un excesivo uso de la materia prima (es necesario optimizar recursos para competir con las marcas existentes).

Para el contenido de Calcio en las mezclas analizadas difieren en un 76 %, lo cual supone no mucha diferencia respecto a la competencia concluyendo un contenido aceptable. Por último el Hierro, no resulta posible comparar porque se encuentra bajo el límite de detección por el equipo de lectura AA. Sin embargo en cuanto al mismo elemento presente en la pasta Jovi, está en apenas un 1,85 %.

En cuanto a la tonalidad terracota, los resultados obtenidos en laboratorio con respecto a la competencia varían de la siguiente forma: el contenido de Silicio se parece en un 74 % lo cual es bastante aceptable; con respecto al Aluminio, difiere en un 50 % el contenido en la pasta obtenida en laboratorio es mayor al de la comercial lo cual implica un excesivo gasto de mineral en la formulación y en este aspecto necesita mejorarse en investigaciones futuras.

El contenido de Calcio en la muestra analizada difiere en 53 % al contenido de la pasta Jovi, resulta inferior y necesita aumentarse para llegar a la similitud como se ha realizado el planteamiento en el presente proyecto. Por último, el sodio no se parece en un 92 %, es demasiado bajo lo cual implica que necesita subirse en una nueva formulación.

En la Tabla 3.16. se presentan los resultados de la medición del pH en las pastas de moldeo óptimas de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.1.

Tabla 3.16. pH en pastas de moldeo óptimas

Muestra	pH
Pasta de Moldeo Blanca	7,5
Pasta Jovi Blanca	4,18
Pasta de Moldeo Terracota	7,0
Pasta Jovi Terracota	5,95

En comparativa con las pastas comerciales, los resultados de laboratorio son superiores (pasta Jovi blanca 4,18 pasta Jovi terracota 5,95) estas diferencias se deben al contenido de elementos químicos en cada muestra difieren haciendo que se correspondan con los resultados anteriores de caracterización química. Las pastas obtenidas en laboratorio tienen en efecto más carga catiónica por el contenido de Sodio en parte, así como la cantidad de Silicio que tiene la capacidad de aumentar el pH. Con respecto a la literatura de Enrique, Monfort, Busani, Mallo, 2000, p. 150, los resultados obtenidos encajan con esta investigación realizada anteriormente.

3.2.3 PROPIEDADES MINERALÓGICAS DE PASTAS FRESCAS

La Tabla 3.17., presenta los resultados del análisis mineralógico de las pastas de moldeo de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.1.3. Las dos pastas de moldeo tuvieron un alto contenido de caolinita. Empezando la comparativa en relación a las pastas competencia Jovi, las resultantes en color blanco son parecidas en un 79 %, en tanto que el contenido de cuarzo está en defecto al 83 %, por último el contenido de calcita en la pasta de color blanca es innecesaria porque la pasta comercial no contiene este aditivo, según la data. Con respecto a la caracterización química, los resultados no se corresponden salvo el contenido de aluminio que podría relacionarse con la Gibbsita contenida en la materia prima arcillosa. Se recomienda realizar una lectura adicional para corroborar el

contenido de calcita en la pasta Jovi. (Santos, Malagón, Córdoba, 2009, pp. 55-56).

Tabla 3.17. Composición mineralógica en Pastas de Moldeo Óptimas

Mineral	Fórmula	Pasta de Moldeo Blanca	Pasta Jovi Blanca	Pasta de Moldeo Terracota	Pasta Jovi Terracota
		Contenido %			
Cuarzo	SiO ₂	5	30	10	2
Grupo plagioclasa (albita, andesina, anortita)	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	5		4	
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	55	67	49	63
Muscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂		3		5
Gibbsita	Al(OH) ₃	15		15	
Hematita	Fe ₂ O ₃	< 1		2	
Calcita	CaCO ₃	20	< 1	20	30

En cuanto a las pastas terracota, el contenido de cuarzo se asemeja en 2 % en relación a la competencia, con respecto al contenido de Caolinita, el parecido está en un 78 %, por último el contenido de calcita se asemeja en un 66 %. El resto de minerales están en exceso, por ejemplo la gibbsita presente en las materias primas, del porcentaje por si mismo no resulta por si solo determinante para removerlo, sería mayor al 50 % para pensar en la posibilidad de realizar algún método físico-químico de separación. (Ramos, Guzmán, Sandoval y Gallaga, 2001, p. 27).

3.2.4 PROPIEDADES PLÁSTICAS DE PASTAS FRESCAS

Se realizaron ensayos de caracterización de la plasticidad en las pastas de moldeo con características similares a las pastas Jovi. Con la finalidad de determinar el contenido de humedad requerido para la extrusión de las pastas, se realizaron los ensayos de plasticidad con el uso del equipo de Pfefferkorn de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.2.4. Para evaluar la plasticidad en las pastas de moldeo se realizó el estudio de los límites de Atterberg líquido y

plástico de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.2.4. La Tabla 3.18. muestra los resultados del análisis de determinación del porcentaje de humedad requerido para el extrusado en las pastas de moldeo con características similares a las comerciales, mediante el empleo del plasticímetro de Pfefferkorn de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.2.4.

Tabla 3.18. Porcentaje de humedad requerido para el extrusado de mezclas

Muestra	h₀/h₁	Contenido de humedad %	Pendiente
Pasta de moldeo blanca	3,30	44,58	15,19
Pasta de moldeo terracota	3,30	32,31	7,14

La influencia de este parámetro permitió concluir que a partir del 44,58 % en humedad se puede trabajar en la extrusora para la pasta de moldeo blanca en tanto que para la pasta de moldeo terracota se puede trabajar a partir del 32,31 % de humedad. Las pendientes tuvieron un valor muy alto, lo cual indicó que ambas pastas tienen alta plasticidad. Con respecto a la literatura de Oliveira, 2008, p. 18, los valores obtenidos en pastas de modelado son similares al tratarse de muestras similares.

La Tabla 3.19., presenta los resultados del análisis de límite líquido en la pasta de moldeo blanca de composición química similar a la pasta Jovi de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.2.4.

Tabla 3.19. Límite líquido en Pasta de Moldeo Blanca

Cantidad de agua añadida	Contenido de humedad (%)	Número de Golpes
30 mL	29,70	50
25 mL	27,67	86
40 mL	31,85	32

El número de golpes fue alto en todas las pastas analizadas, esto indica la alta plasticidad que posee la mezcla. A los 25 golpes se obtuvo una humedad del 32,05 %. No se corresponde el valor al obtenido por Pfefferkorn. Con respecto a

la literatura de Muñoz, Muñoz, Mancilla, Rodríguez, 2007, p. 540, se trata de pasta para modelaje con alta plasticidad.

La Tabla 3.20., presenta los resultados obtenidos durante la determinación del límite líquido en la pasta de moldeo terracota de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.2.4. El contenido de humedad a los 25 golpes fue de 141,18 %. En comparativa con el trabajo de Vásquez, Jiménez, Sánchez, Parras, 2003, p. 217, la pasta de modelaje obtenida tiene alta plasticidad.

Tabla 3.20. Límite líquido en Pasta de Moldeo Terracota

Cantidad de agua añadida	Contenido de humedad (%)	Número de Golpes
30 mL	29,30	> 100
25 mL	28,76	> 100
40 mL	30,19	86

La Tabla 3.21. presenta los resultados obtenidos de la determinación del límite plástico en las pastas de moldeo con la composición mineralógica similar a la de las pastas comerciales, de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.2.4.

Tabla 3.21. Límite plástico en Pastas de Moldeo óptimas

Muestra	Límite Plástico
Pasta de Moldeo Blanca	18,09 ± 0,16
Pasta de Moldeo Terracota	18 ± 0,63

$\bar{x} \pm \sigma$ (n=3)

Los valores obtenidos para límite plástico con respecto a la literatura de Afanador, Ibarra, López, 2013, p. 109, indican que las pastas obtenidas poseen alta plasticidad. En conclusión de los datos obtenidos, el método empleado es totalmente reproducible.

Contraste de hipótesis: De acuerdo al objetivo formulación y caracterización de pastas arcillosas para moldeo similares a pastas comerciales, se analiza el

cumplimiento de acuerdo a los resultados obtenidos. Además del planteamiento de nuevas hipótesis para trabajos posteriores.

Tabla 3.22. Contraste de hipótesis formulación y caracterización de pastas arcillosas para moldeado similares a pastas comerciales

	Ho Verdadera	Ho Falsa
Acepta		Se acepta parcialmente, porque las pastas de laboratorio difieren en composiciones químico-mineralógicas con la competencia, sin embargo cumplen con los requerimientos técnicos (plasticidad, extrudabilidad), así como se asemejan en la densidad aparente.
Rechaza		

Trabajos futuros: Se recomienda replantear un balance de masas para obtener pastas cerámicas frías. Así como realizar nuevas lecturas por difracción de Rayos X, con la finalidad de corresponder con los análisis de elementos químicos. Los resultados alcanzados se deben a fallas en el diseño de ensayo para formulación. Adicional se recomienda triangular la información, así como hacer revisar por especialistas en el área de Ingeniería Cerámica. Preparar muestras representativas para que los resultados se correspondan, en efecto se lograron resultados dispersos por la cantidad de minerales presentes en las materias primas, como se citó previamente primero definir la idoneidad de las mismas para posteriores formulaciones. Considerar si se agrega aglutinante a las pastas cerámicas o si se pueden obtener productos que reopecten (solidifiquen, junten) con solo caolinita. Para economizar al momento de diseñar la planta.

3.3 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ARCILLOSAS PARA ELABORACIÓN DE JUGETES LÚDICOS

Con la finalidad de optimizar la mezcla arcillosa óptima como temperatura de sinterización, se elaboraron probetas de cerámica roja con las materias primas:

Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Gris Puyo y Mineral arcilloso “La Victoria” seleccionadas con base en las propiedades físico-química y mineralógica evaluadas en su caracterización inicial, de acuerdo a la metodología explicada en las secciones 2.1.1, 2.1.2 y 2.3.1. A las probetas se determinaron propiedades físicas tales como: porcentaje de pérdidas por ignición, porcentaje de absorción de humedad, contracción en crudo, contracción a la quema y color a la quema. Con los datos obtenidos se obtuvieron gráficos de barras con software de apoyo Ms Excel 2010.

Una vez optimizados los parámetros: mezcla arcillosa y la temperatura de sinterización se realizó la caracterización química del contenido de elementos presentes después de la “quema” y la evaluación de la toxicidad mediante el test EPA TCLP. Con los datos obtenidos se realizaron tablas empelando software de apoyo Ms Excel 2010. Con los resultados obtenidos se evaluó la prefactibilidad técnica de obtener juguetes lúdicos. Validez y confiabilidad: Para confirmar la calidad de los resultados, así como la confiabilidad de los mismos y hasta qué otros contextos se pueden generalizar, se presenta el análisis de validez. Validez interna: Limitaciones en el trabajo de campo, ensayos de laboratorio: el manejo irresponsable por parte de terceros en el laboratorio: la falta de uso responsable en las sorbonas (ensayos de quemas para el presente proyecto), el no uso del traje de asbesto, generando desconfianza y malestar en el área de trabajo, así como accidentes. Quede claro que la autora de la presente, no incurrió en estas conductas.

La metodología empleada fue la adecuada. Se completó la cantidad de muestra para los estudios de prefactibilidad técnica. La instrumentación empleada fue adecuada. No se han realizado ensayos a escala piloto. La investigación es válida. Los resultados obtenidos son válidos así como confiables, permitiendo el nuevo conocimiento, así como su completa discusión en comparación con investigaciones anteriores. Validez externa: Los resultados obtenidos se pueden generalizar.

En efecto las pérdidas por ignición, se pueden aplicar a muestras orgánicas, poliméricas, geológicas; en tanto que para la absorción de humedad se puede aplicar también para muestras de origen plástico, orgánico, cerámicas. Para los resultados de contracción en crudo tanto como a la quema, son aplicables solo para muestras cerámicas. Así como la cantidad de elementos químicos se puede generalizar para muestras orgánicas, plásticas, geológicas. En tanto a los resultados del test TCLP, se puede generalizar a muestras que contengan los metales pesados (orgánicas, cerámicas).

3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE PLACAS “QUEMADAS” A 850 °C

Los resultados de pérdidas por ignición se discuten a continuación: El valor más bajo de pérdidas a la quema, fue de la mezcla arcillosa mineral arcilloso 75 % y Arcilla Roja Sigchos 25 %. La influencia de esta composición contribuyó al ahorro energético durante la “quema” de las piezas cerámicas.

Cuando la “quema” se efectuó solo con mineral arcilloso La Victoria, el producto no adquirió una baja absorción de humedad, lo que implica que la sinterización no se ha completado todavía y se podría requerir de un mayor tiempo de tal proceso. Los resultados de contracción en crudo y a la quema, se encuentran detallados en la Tabla AV.3 del ANEXO V, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.3.2.

Para la mezcla arcillosa Arcilla Roja Sigchos 25 % y Barro “La Victoria” 75 %, la contracción al secado fue baja en apenas el 8 %, los resultados encajan con los obtenidos por Álvarez, 2014, p. 51, debido a que se están obteniendo productos de cerámica roja para usos particulares como ladrillos y tejas.

La Figura 3.11., presenta los resultados obtenidos de los ensayos de pérdidas de materiales volátiles, cenizas a la quema (por ignición) así como absorción de humedad.

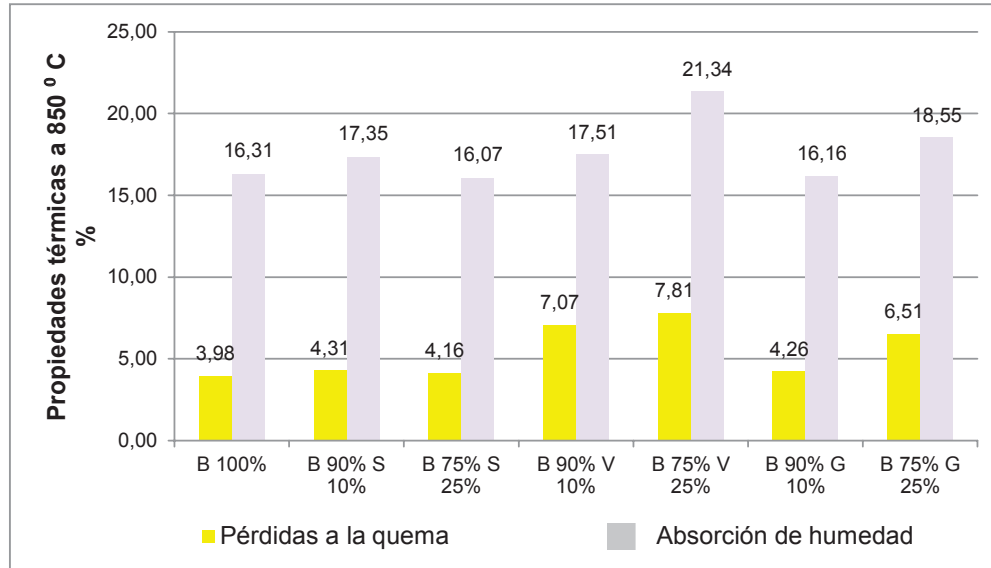


Figura 3.11. Pérdidas a la quema y absorción de humedad en probetas “quemadas” a 850 °C

Para usos en cerámica de acuerdo al criterio de Quijorna, San Miguel, Andrés, 2009, p. 166, los resultados han de ser inferiores al 15 %, esto se logró con un porcentaje del 4,16 %, de lo contrario habría sido necesario aumentar la cantidad de agua en las pastas previas a realizar el proceso pirometalúrgico cerámico. El porcentaje de absorción de humedad es aceptable y los valores obtenidos coinciden con la investigación realizada por Rodríguez, 2016, pp. 36,38. Los resultados de caracterización color a la quema se encuentran en la Tabla AV.5 del ANEXO V, de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.3.2. El color que presentó la mezcla arcillosa Arcilla Roja Sigchos 25 % y mineral arcilloso “La Victoria” 75 % resultó ser anaranjado. El color obtenido fue el esperado de acuerdo al criterio de Cultrone, 2001, p. 135.

3.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE PLACAS “QUEMADAS” A 1000 °C.

Se realizaron ensayos de caracterización física a las probetas obtenidas mediante conformado por prensado en molde de yeso como se detalla en la sección 2.3.1. Las propiedades a determinarse fueron: pérdidas por ignición, pérdidas totales,

absorción de humedad, contracción al secado, contracción a la quema y color a la quema de acuerdo a la metodología expuesta en la sección 2.3.2.

La Figura 3.12, presenta los resultados de las propiedades físicas tales como: pérdidas a la quema y absorción de humedad cuya metodología se encuentra explicada en la sección 2.3.2. Los resultados más bajos de pérdidas presentaron las mezclas mineral arcilloso La Victoria 75 % Roja 25 % y mineral arcilloso La Victoria 100 %, sin embargo fueron más altos que a 850 °C, por tanto la temperatura de sinterización óptima para el presente trabajo resultó ser 850 °C. Los resultados obtenidos son aceptables y se asemejan a los obtenidos por Salazar, 2015, p. 104, al realizar formulaciones para ladrillos en su proyecto para pérdidas a la quema así como absorción de humedad.

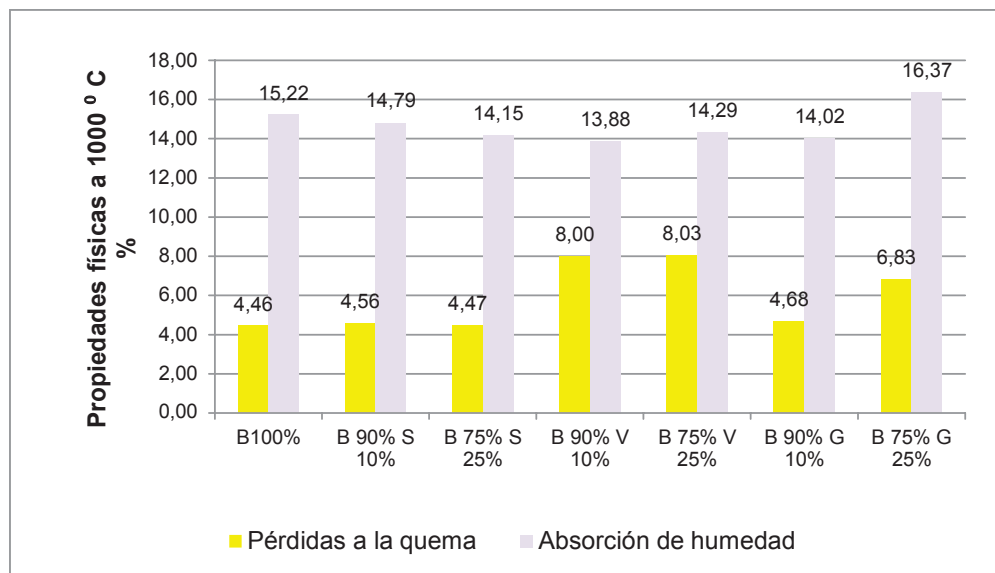


Figura 3.12. Pérdidas a la quema y Absorción de humedad en probetas “quemadas” a 1000 °C

Los resultados de la contracción en crudo y a la quema se detallan en la Tabla AV 4 del ANEXO V, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.3.2. Para la mezcla arcillosa Arcilla Roja Sigchos 25 % y mineral arcilloso “La Victoria” 75 %, la contracción al secado fue baja en apenas el 7 %. Los resultados de color a la quema se encuentran en la Tabla AV.5 del ANEXO V de acuerdo a la

metodología explicada en la sección 2.3.2. Al igual que a 850 °C los colores a la quema, no variaron de manera significativa. El color que presentó la mezcla arcillosa Arcilla Roja Sigchos 25 % y mineral arcilloso “La Victoria” 75 % fue anaranjado. Con respecto a la literatura de Espinosa, 2009, p .8, el color corresponde a una buena quema, los resultados obtenidos son aceptables.

3.3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA PLACA DE COMPOSICIÓN ÓPTIMA Y TEMPERATURA DE SINTERIZACIÓN ÓPTIMA

La Tabla 3.23 muestra los resultados de la composición química de la mezcla arcillosa para la generación de juguetes lúdicos, de acuerdo a la metodología detallada en la sección 2.1.2.

Tabla 3.23. Composición química de la mezcla arcillosa óptima para obtención de juguetes lúdicos

Elemento	Símbolo	%
Plomo	Pb	< 0,10
Silicio	Si	52,92
Aluminio	Al	24,88
Calcio	Ca	4,16
Magnesio	Mg	1,25
Hierro	Fe	10,78
Potasio	K	1,90
Fósforo	P	0,00
Antimonio	Sb	0,27
Titanio	Ti	0,85
Azufre	S	0,02
Manganeso	Mn	0,14
Sodio	Na	2,83

Se determinó un alto contenido de silicio, de acuerdo al diagrama triaxial Rozeboom, Silveira, et al., 2010, p. 350, cumplió con la composición para producción de ladrillos y tejas. También tuvo un contenido alto de aluminio y la presencia de hierro que dio con la quema del producto.

La Tabla 3.24. muestra los resultados del test de toxicidad realizado a la mezcla arcillosa óptima para producción de juguetes lúdicos, de acuerdo a la metodología explicada en la sección 2.3.3. Conforme a la normativa del Ministerio del ambiente en el Ecuador, los juguetes lúdicos no serían catalogados como peligrosos, porque los resultados que arrojaron el ensayo realizado indican que las concentraciones de los elementos son inferiores a los límites permitidos.

De acuerdo con la literatura de Anyakora, 2013, p. 77, cumple con los requerimientos, ya que los elementos de riesgo contaminante se encuentran por debajo de los límites permitidos.

Tabla 3.24. Resultados del test de toxicidad TCLP

Elemento	Lectura [mg/L]	Límites permitidos [mg/L]*
As	0,20	5,00
Ba	< 0,10	100,00
Cd	0,01	1,00
Cr	0,36	5,00
Pb	< 0,10	5,00
Hg	< 0,10	0,20
Se	< 0,10	1,00
Ag	< 0,10	5,00

Contraste de hipótesis: De acuerdo al objetivo, elaborar juguetes lúdicos con materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza, se analiza a continuación el cumplimiento del mismo en función de los resultados obtenidos así como nuevas hipótesis que se planteen para estudios posteriores.

Tabla 3.25. Contraste de hipótesis elaborar juguetes lúdicos con materiales arcillosos de Cotopaxi y Pastaza

	Ho Verdadera	Ho Falsa
Acepta	Se acepta, totalmente porque se determinó la prefactibilidad de producir juguetes lúdicos (ladrillos, tejas a escala) al cumplir con los requerimientos de calidad (propiedades físico-químicas), para llevar de la producción tradicionalmente artesanal a una probable industrial	
Rechaza		

Trabajos futuros: Realizar pruebas a escala piloto de la obtención juguetes lúdicos, así como generar más variedad de mezclas en otras proporciones. (Ladrillos a escala en yeso, ladrillos en su mayor parte sílice, refractarios) para que haya más diversidad en los productos. Y que se puedan generar equipos a escala, ya no solo escalado de casas, sino equipos (hornos, calderas) permitiendo el potenciar las capacidades en los niños al divertirse aprendiendo notas industriales desde temprana edad. Incluso escalado de plantas químicas destinadas a cualquier producción.

En cuanto a la prefactibilidad técnica en producir artículos a escala, los resultados fueron bastante aceptables, por lo tanto no es necesario aumentar análisis para garantizar productos de alta calidad, así como inoculantes.

3.4 DIAGRAMA DE FLUJO Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

De acuerdo a los datos expuestos en el capítulo 2, para una capacidad de procesamiento de 50 kg/día de materias primas, se planteó en primer lugar el diagrama de flujo del balance de masas para una planta que tendría dos líneas de producción: a) Pastas de moldeo, b) Juguetes lúdicos. Posterior se presentan los detalles correspondientes a los balances de masa efectuados tanto para la línea de reciclado de celulosa a partir de papel bond gastado, esta materia prima para ingresar al proceso de mezclado y posterior conformado de pastas frescas, ha de ser lixiviada en carbonato de calcio (blanqueador), para posterior secado en

estufa a 100 °C y reducción de tamaño. También los detalles de las operaciones unitarias con los respectivos resultados de los balances de masas para la línea de producción de pastas de moldeo como de juguetes lúdicos. Validez y confiabilidad: Los diagramas de flujo a presentar son válidos. (Himmelblau, 1997, p. 574).

3.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO CON BALANCES DE MASAS EN LA PLANTA A DISEÑARSE

Producción pastas de moldeo: el orden en las operaciones unitarias es el siguiente.

- a) *Preparación del cuerpo cerámico (Mezcla, Homogeización y Amasado):*
Una vez reducidas y clasificadas por tamaño las materias primas, pasarían a un transportador de tornillo, en donde se aumentaría la cantidad de agua óptima, luego al mezclado-homogeneizado en una mezcladora de paletas.

De acuerdo a la Figura 3.13, en la línea de producción de pastas de moldeo, se detallan las operaciones a realizarse.

- a) *Moldeado:* el moldeo de las pastas cerámicas, sería por extrusión, a la salida de la extrusora, el cuerpo cerámico sería de la forma de un paralelepípedo y sus dimensiones; largo: 12,5 cm. Ancho: 8 cm y alto: 3,5 cm, después de recortado en una guillotina, cada pasta pesaría 750 g y se producirían 29 unidades por color, en total 58 unidades diarias.
- b) *Empacado:* Una vez conformadas las pastas de moldeo, pasarían a una empacadora horizontal, que se denomina flow pack, el material envolvente sería de aluminio con plástico para la portada del producto; el aluminio sirve para conservar la pasta por mucho tiempo sin que se pierda humedad.

Debido a la buena calidad de las materias primas, no fue necesario agregar algún tipo de reactivo para preservación de las mismas; una vez empacadas las pastas de moldeo, serían almacenadas hasta haber alcanzado el número suficiente para su posterior distribución a nivel nacional.

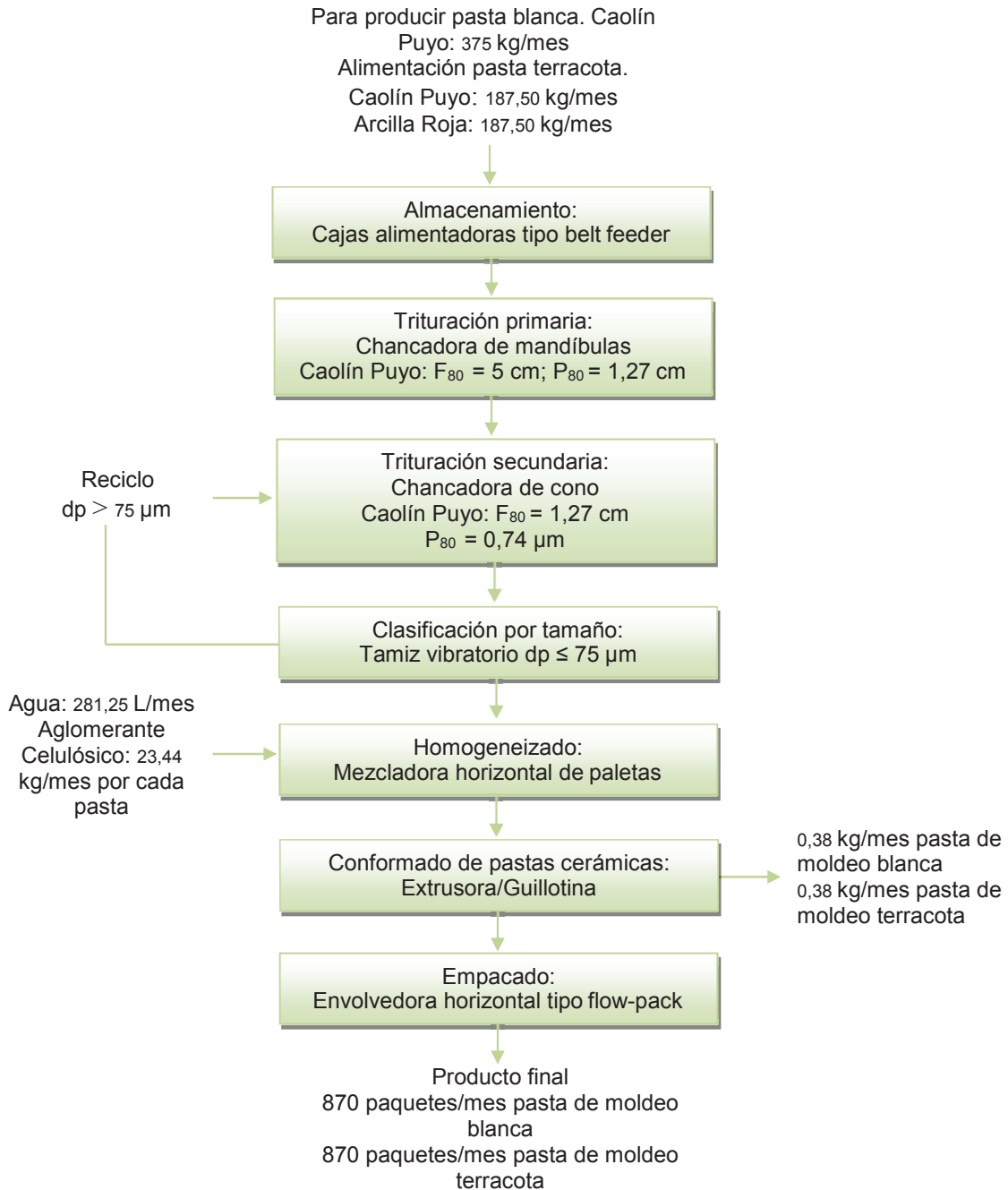


Figura 3.13. Diagrama de flujo del balance de masas para el diseño de la línea de producción de pastas de moldeo

- c) Para la producción de juguetes lúdicos la línea de proceso fue propuesta de la siguiente manera: previo al proceso de preparación, las materias primas recibidas de las diferentes minas, serían guardadas en cajas almacenadoras (box feeder en inglés).
- 1) *Preparación de materias primas*: se refiere a la reducción de tamaño y clasificación; el mineral arcilloso “La Victoria” proveniente de la mina de Tingo Chico, tuvo un tamaño de partícula en 10 cm, este material sería reducido de tamaño hasta alrededor de 1,27 cm en una chancadora de mandíbulas (razón de reducción 1/8); luego pasaría a una trituradora de cono que reduzca el material hasta partículas de tamaño menor o igual a 2 mm.

En la Figura 3.14, se presenta el diagrama de flujo del balance de masas para la línea de producción de juguetes lúdicos, aquí se detallan las operaciones unitarias definidas junto a los resultados obtenidos.

- 1) Se seleccionaría el material que tenga tamaño inferior a los 2 mm, mediante una zaranda vibratoria. En tanto que, la arcilla proveniente de Sigchos, tuvo un tamaño de partícula inicial de 10 cm y el tratamiento de reducción de tamaño sería en los mismos equipos que se usarían para el mineral arcilloso “La Victoria”, debido a que constituirán una pasta cerámica.
- 2) *Moldeado*: el conformado de los juguetes lúdicos se llevaría a cabo en una extrusora, tal extrusora, formaría cuerpos cerámicos de dimensiones, largo: 30 cm, ancho: 30cm y alto: 3,5 cm, para ser recortados en una guillotina en 375 piezas de dimensiones, largo: 3,5 cm, ancho: 2 cm y alto: 1,2 cm, esto en el caso de un ejemplo en el que se hicieran ladrillos a escala, todo dependería de la forma de la galletera para la forma que se quiera dar.

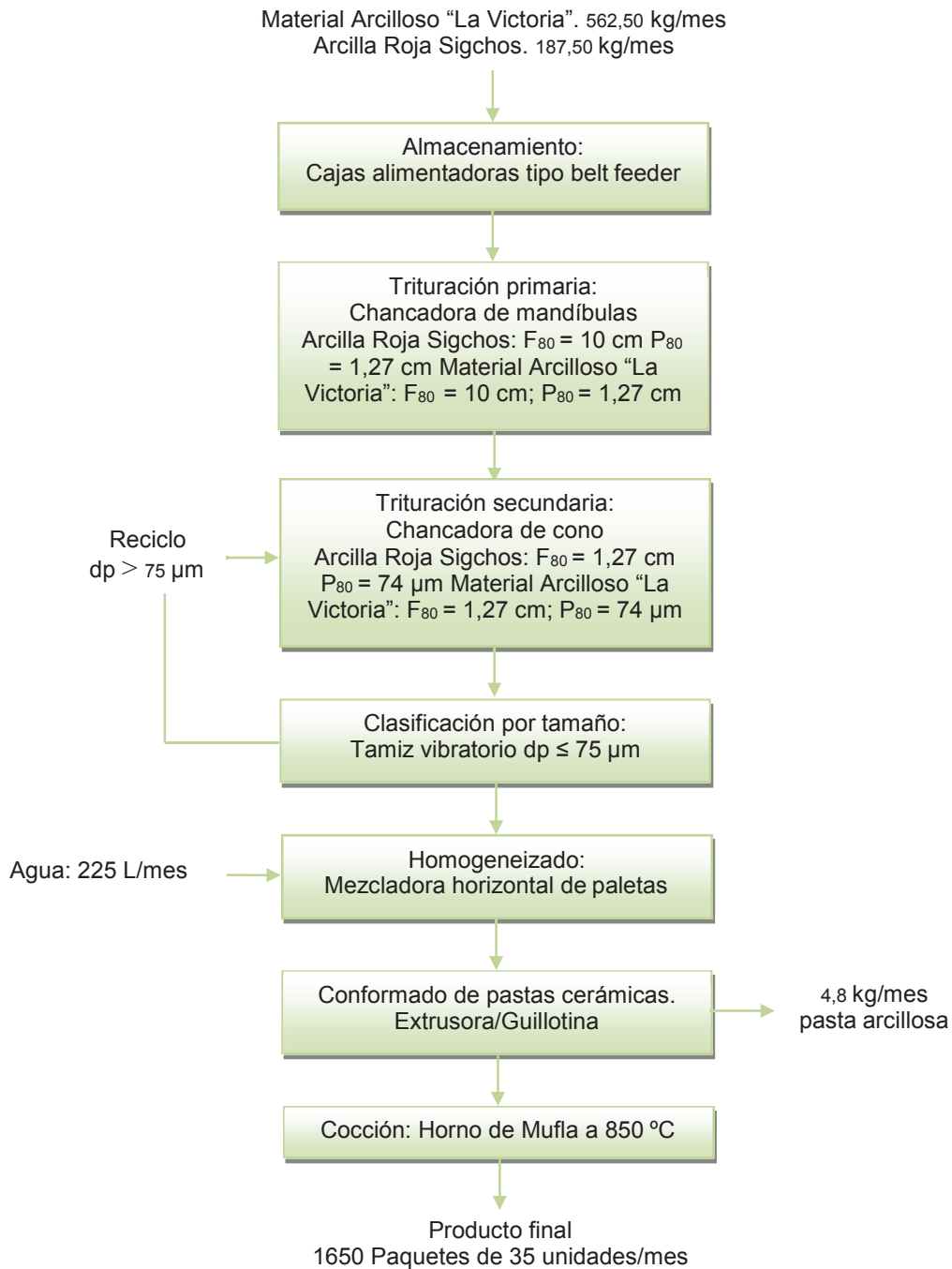


Figura 3.14. Diagrama de flujo del balance de masas para el diseño de la línea de producción de juguetes lúdicos

- 3) *Secado*: una vez obtenidas las piezas conformadas por extrusión y recortadas en guillotina, serían agrupadas en forma de muro (en caso de que la Figura a obtenerse fuera un ladrillo) con un espacio entre bases de

0,5 cm, esto con el propósito de que se dé la circulación de aire de una manera uniforme. Los procesos de secado y cocción serían en un mismo equipo, horno de mufla, con una distribución de temperatura desde ambiente hasta 100 °C durante 12 horas y la cocción desde 100 °C hasta la temperatura de sinterización óptima de 850 °C, durante 6 horas y otras 12 horas para enfriamiento.

- 4) *Producto final*: para la producción de ladrillos a escala, se tendría una producción alrededor de 1925 unidades, estas a la vez en paquetes de 35 unidades, se producirían 55 paquetes diarios, el empaqueo del producto final, sería en cajas de cartón de dimensiones; largo: 14 cm, ancho: 6 cm y alto: 3,5 cm, este producto sería puesto para transportación y distribución a nivel nacional para su respectiva venta.

El balance de masa se encuentra en el ANEXO VII página 257.

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Se dimensionaron los equipos para una capacidad de procesamiento de 50 kg/día, con respecto a minerales. Los gráficos acotados de los equipos diseñados, fueron elaborados en el programa Auto CAD (año 2007).

En lo correspondiente a los aglutinantes a emplearse en la línea de producción en pastas de modelaje, en el balance de masas se proyectó la cantidad a emplearse en función de los resultados obtenidos de los análisis en los que se estudió el efecto de la composición porcentual de materiales.

Validez y confiabilidad: Para corroborar la validez de los diseños realizados, se comparó los resultados obtenidos con trabajos anteriores. De esta manera poder recomendar las mejoras pertinentes en cuanto a futuros trabajos.

3.4.3 OBTENCIÓN DE AGLOMERANTE CELULÓSICO

Para la obtención de aglomerante celulósico se dimensionaron tanques de lixiviación, una estufa de secado y trituradora de cuchillas. Dimensionamiento y selección de tanque agitador para blanqueo de celulosa. La Tabla 3.26. presenta los resultados de dimensionamiento de los tanques agitadores para lixiviación del papel usado en solución de CaCO_3 al 10 %, de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2.4.2. De acuerdo a la literatura de Macadán, 2010, p. 137, la relación entre la altura y el diámetro está aproximadamente en $\frac{3}{4}$, en tanto que de lo obtenido resulta en 1/1. De lo cual se puede recomendar para uso más frecuente, emplear la relación $\frac{3}{4}$.

Tabla 3.26. Dimensiones de los tanques agitadores

	Aglomerante pasta de moldeo blanca	Aglomerante pasta de moldeo terracota
Volumen (cm³)	250967,92	255489,87
Diámetro (m)	0,68	0,69
Altura interna (m)	0,68	0,69

Selección del equipo: en el mercado se encuentran disponibles tanques para la capacidad requerida con un diámetro interno de 1 m. El equipo seleccionado fue tanque agitador, fabricante Bangke Machinery, operación batch, modelo RJ 10. Las dimensiones del tanque, diámetro interno: 1000 mm, diámetro externo: 1001 mm, volumen efectivo: 0,58 m³, diámetro del agitador: 240 mm, velocidad de giro: 530 RPM, modelo del motor: Y90L-4, potencia del motor: 1,5 kW. Dimensiones externas, Peso: 350 Kg, Longitud total: 13000 mm, altura total: 1665 mm. Principio de operación: la pulpa a ser blanqueada, es ingresada de manera manual al tanque para lixiviar, completado el tiempo de lixiviación, la pulpa resultante es retirada por la boca de descarga.

En la Figura 3.15 se presenta el esquema con cotas del tanque para lixiviación escogido.

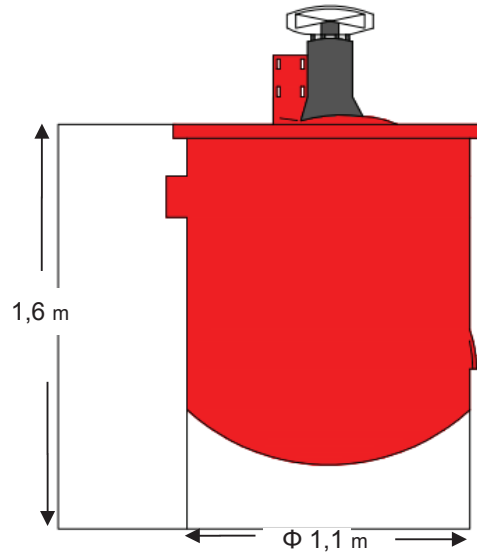


Figura 3.15. Esquema de acotaciones para tanque de lixiviación (mm)

Dimensionamiento y selección de estufa para secado pulpa celulosa. En la Tabla 3.27., se presentan las dimensiones para la estufa de bandejas para secado, de la celulosa resultante del proceso de lixiviación; esto de acuerdo a lo expuesto en la sección 2.4.2. Respecto al criterio de Jiménez, Rodríguez, 2014, p. 71, los resultados son aceptables, lo cual otorga validez así como fiabilidad en lo obtenido.

Tabla 3.27. Dimensiones estufa de secado

	Aglomerante pasta de molde blanca	Aglomerante pasta de molde terracota
Número de bandejas	4	5
Altura de la cámara (m)	0,90	
Potencia (kW)	1406,97	

Selección del equipo: para 12 horas de secado a 100 °C se eligió la estufa de fabricante “Changzhou Yeping Drying Equipment Co., Ltd.” Modelo CT-CT-C, presión de uso 0,2-0,8 MPa, potencia del motor 15 Kw, las dimensiones internas son: largo de placa 460 mm, ancho de placa 640 mm, alto de placa 4,5 mm. La temperatura máxima de trabajo es 140 °C. Principio de operación: la celulosa

lixiviada, pasa a la estufa en donde es secada durante 12 horas. La Figura 3.16 presenta el esquema con acotaciones la estufa seleccionada para secado de las planchas conformadas de aglomerante reciclado.

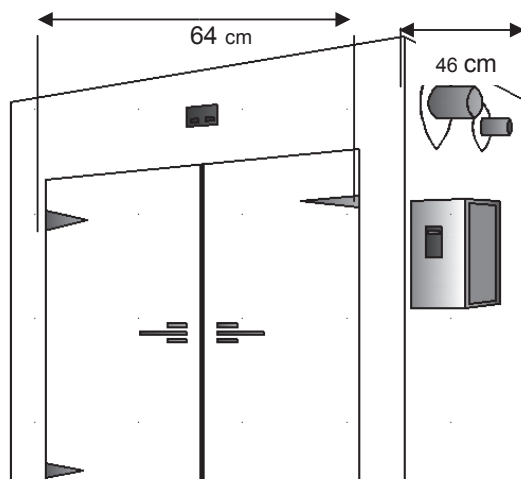


Figura 3.16. Esquema de acotaciones para estufa de secado

En la Tabla 3.28., se presentan las dimensiones para la Trituradora de celulosa de acuerdo a la sección 2.4.2. De acuerdo al criterio de Worrel y Veslind, 2011, p. 191, el modelo es bastante aceptable y reproducible.

Tabla 3.28. Dimensiones trituradora de celulosa.

	Aglomerante pasta de moldeo blanca	Aglomerante pasta de moldeo terracota
Potencia (rad/s)	2,09	
Par (W)	316,41	
Potencia (HP)	572,97	

Selección del equipo: se eligió la cortadora de doble eje para papel, fabricante Zhangjiagang Widesky Machinery Co., Ltd., operación Batch, Modelo PC180, Cuchillas Rotatorias 9, capacidad 100-150 kg.h⁻¹, cuchillas fijas 2, cámara de trituración 185x150 mm, tamaño material de descarga: 0-6 mm, potencia del motor: 2.2 kW. Dimensiones externas: largo 68 cm, ancho 47 cm, alto 90 cm.

Peso 160 kg. Principio de operación: el material, pasa luego de ser laminado y secado en estufa a la cortadora y reducida de tamaño por la boca de descarga. La Figura 3.17 presenta el esquema con acotaciones la trituradora de celulosa seleccionada para reducción de tamaño de las planchas conformadas de aglomerante reciclado y posterior mezcla para obtención de pastas arcillosas.

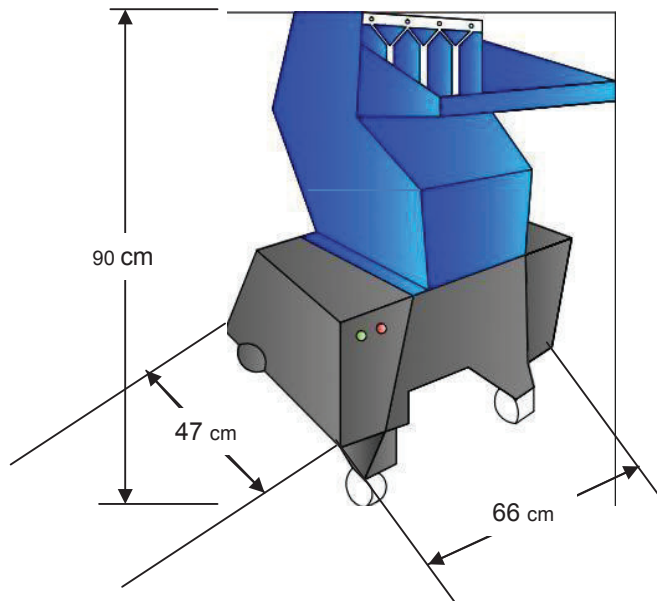


Figura 3.17. Esquema de acotaciones para trituradora de celulosa.

3.4.4 PRODUCCIÓN DE PASTAS DE MOLDEO Y JUGUETES LÚDICOS

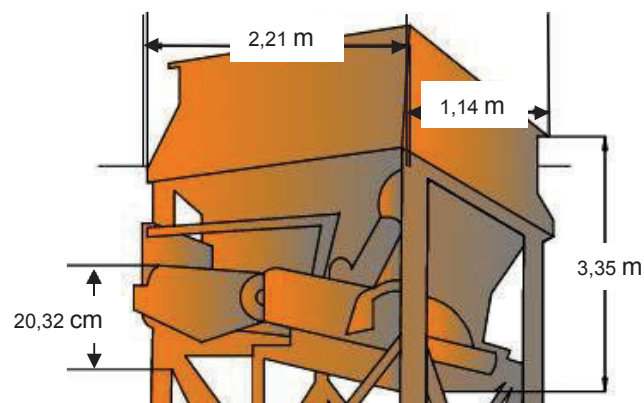
En la Tabla 3.29., se presentan los resultados de dimensionamiento de cajas alimentadoras tipo Belt-Feeder, de acuerdo a lo descrito en la sección 2.4.2. De acuerdo al criterio de Carson y Petro, 2013, p. 3, las cajas alimentadoras dimensionadas cumplen con las capacidades características.

Los resultados obtenidos se aceptan. Selección del equipo: Para volúmenes tan bajos, se eligieron cajas alimentadoras a escala de laboratorio de fabricante Sepor modelo 020D-001, para volúmenes de 60 pie³. Potencia ¼ HP, Ancho de la banda 8 pulg, longitud total 45 pulg, ancho total 87 pulg, altura total 132 pulg.

Tabla 3.29. Dimensiones cajas alimentadoras tipo Belt Feeder

	Caolín Puyo	Arcilla Roja Sigchos	Mineral arcilloso “La Victoria”
Cantidad a almacenar (kg)	18,75	12,5	18,75
Volumen a ocupar (m ³)	$2,57 \times 10^{-2}$	$1,08 \times 10^{-2}$	$1,99 \times 10^{-2}$

Principio de funcionamiento: El material proveniente de la mina, es colocado en la caja alimentadora y para ser transportado hacia la chancadora de cono. La Figura 3.18 muestra el esquema de acotaciones para la caja alimentadora tipo belt feeder a emplearse con el propósito de almacenaje y alimentación de las materias primas arcillosas hacia el circuito de trituración clasificación.

**Figura 3.18.** Esquema de acotaciones para caja alimentadora

La Tabla 3.30., presenta los resultados de dimensionamiento para trituradoras de mandíbula, de acuerdo a lo explicado en la sección 2.4.2.

Tabla 3.30. Dimensiones chancadora de mandíbulas

	Caolín Puyo	Arcilla Roja Sigchos	Mineral arcilloso “La Victoria”
Potencia requerida por el motor (HP)	$3,97 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-4}$
Capacidad de la chancadora (kg.h ⁻¹)	1632,95	1632,95	1632,95

De acuerdo al criterio Irfan, 2011, p.14, la potencia de operación para trituradoras de mandíbulas estaría entre 5-200 kW, en tanto que de acuerdo a los datos obtenidos del modelado matemático, las potencias resultaron inferiores a los 5 kW, la diferencia está en la capacidad de la trituradora, se dimensionó para trabajar con muy poca cantidad de mineral, apenas 50 kg/día de materias primas arcillosas. Se valida así el modelo matemático aplicado para tan baja alimentación a la planta.

Selección del equipo: La potencia requerida por el motor fue baja en tanto que la capacidad de la chancadora permitió la selección de equipos a escala de laboratorio como de la marca Marcy 4x6 modelo 010^a-014, potencia 5 HP, tamaño en la descarga del material hasta ¼ pulg.

Principio de operación: el material a triturar, pasa de la caja alimentadora a la chancadora y reducida de tamaño por la boca de descarga.

La Figura 3.18 presenta el esquema de acotaciones de la chancadora de mandíbulas a emplearse para la trituración primaria de los materiales arcillosos: Caolín Puyo, Arcilla Roja Sigchos y mineral arcilloso “La Victoria” provenientes de la caja alimentadora tipo belt feeder.

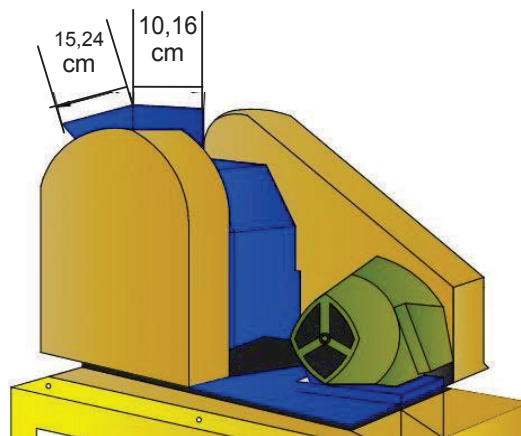


Figura 3.18. Esquema de acotaciones para chancadora de mandíbulas

La Tabla 3.31., presenta los resultados del dimensionamiento de las chancadoras de cono de acuerdo a lo detallado en la sección 2.4.2. De acuerdo al trabajo realizado por Rodríguez, 2007, página 8, generalmente las chancadoras de cono alcanzan una potencia de 13-150 kW, a diferencia de los resultados obtenidos, estos discrepan debido a la cantidad de mineral a procesar de tan solo 50 kg/día.

En tanto que para el diámetro de la taza conforme al criterio de Atta, 2013, p. 36, los diámetros de taza resultaron bajos para capacidad de un equipo de laboratorio, es decir que lo dimensionado, resultó para capacidad de laboratorio, planta de pequeña escala.

Tabla 3.31. Dimensiones chancadoras de cono

	Caolín Puyo	Arcilla Roja Sigchos	Mineral arcilloso “La Victoria”
Potencia requerida por el motor (HP)	8.81×10^{-3}	$3,11 \times 10^{-2}$	$3,11 \times 10^{-2}$
Diámetro de la taza (pulg)	4,08	5,52	5,52

Selección del equipo: La potencia requerida por el motor resultó baja, en cambio que el diámetro de la taza permitió definir el equipo a utilizarse, uno a escala de laboratorio, Marcy modelo 010B-001. Potencia del motor $\frac{1}{2}$ HP, diámetro de la taza 6 pulg, capacidad 350 lb/h, peso 220 lbs. Dimensiones externas: largo 23 pulg, ancho 15 pulg, alto 21 pulg.

Principio de operación: el material a triturar, pasa de la chancadora de cono al molino y sale reducido de tamaño por la boca de descarga.

La Figura 3.19, presenta el esquema con acotaciones de la trituradora de cono seleccionada para emplearse en el chancado secundario de las materias primas provenientes de la chancadora de mandíbulas.

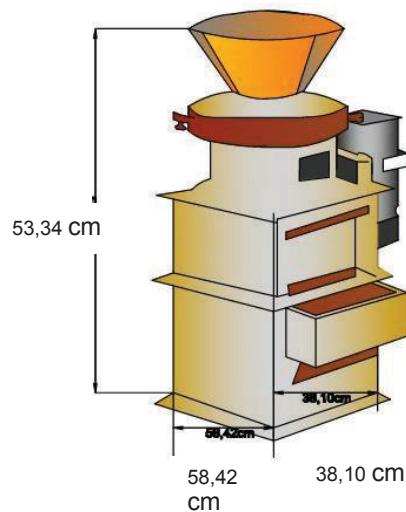


Figura 3.19. Esquema de acotaciones para trituradora de cono

La Tabla 3.32, presenta los resultados del dimensionamiento de zarandas vibratorias de acuerdo a lo descrito en la sección 2.4.2. Con respecto a la literatura de Wills, Munn, 2015, p. 187 se trabaja a razón de $7,01 \times 10^{-3}$ ton/h, así como un área de $1,69 \times 10^{-4}$ cm².

Tabla 3.32. Dimensiones zarandas vibratorias

	Caolín Puyo	Arcilla Roja Sigchos / Mineral arcilloso “La Victoria”
Flujo másico diario (TM/h)	$1,95 \times 10^{-3}$	$3,66 \times 10^{-3}$
Área del tamiz (cm ²)	$3,63 \times 10^{-4}$	$6,05 \times 10^{-4}$
Longitud de la criba (cm)	0,019	0,025

Los resultados obtenidos en comparación al proyecto citado se parecen en el orden de las cifras decimales, así como requiere de partículas finas.

La longitud de criba obtenida resulta mayor (1,3 cm con respecto a los obtenidos mediante modelado matemático), en efecto se requiere de tamaños de partículas bajas, casi pulverizadas para lograr la consistencia de pastas cerámicas frías así como elaboración de ladrillitos y tejas a escala pequeña.

Selección del equipo: Tanto el área del tamiz como la longitud de la criba, fueron bajos esto se debió a que el flujo másico a procesar al día era bajo también. Para esta cantidad de material a trabajar se seleccionaron equipos a escala laboratorio fabricante Sweco, modelo 040D-041. Operación Batch, peso 285 lbs, potencia $\frac{1}{4}$ HP, largo criba 36 pulg, Ancho criba: 24 pulg. Principio de operación: el material a ser seleccionado, pasa de la trituradora de cono al tamiz de abertura malla 2mm. La Figura 3.20 muestra el esquema de acotaciones de la zaranda vibratoria seleccionada para clasificación de los materiales arcillosos provenientes de la trituración secundaria en chancadora de cono.

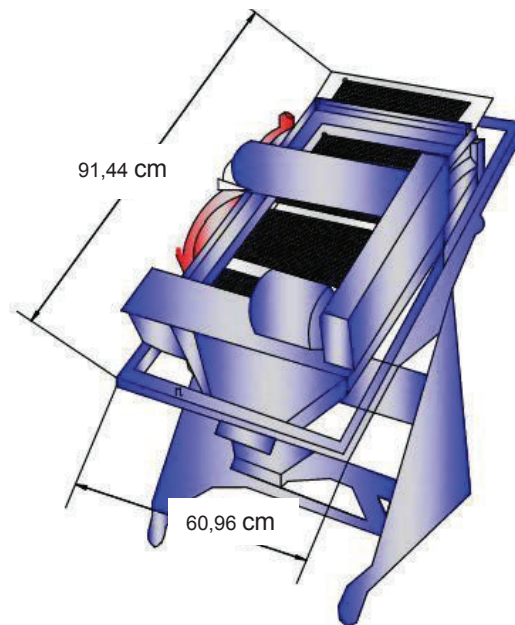


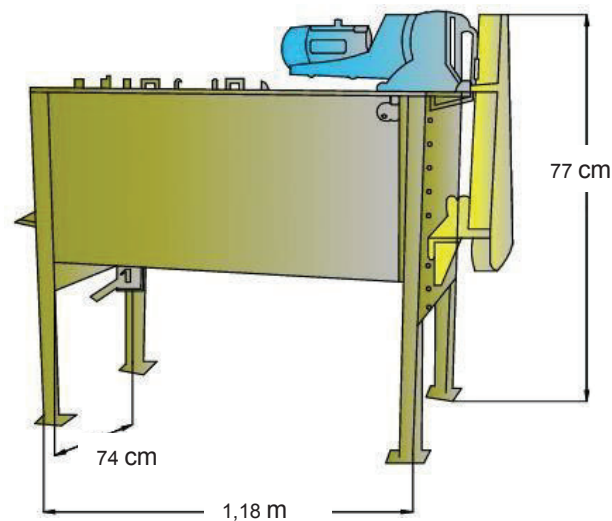
Figura 3.20. Esquema de acotaciones para zaranda vibratoria

La Tabla 3.33, presenta los resultados de dimensionamiento de las mezcladoras de paletas de acuerdo a lo explicado en la sección 2.4.2. De acuerdo a la literatura de Ferrante, 1995, p. 28, el diámetro de cada paleta no discrepa mucho, resulta alrededor de 7,6-0,3 cm. Confirma que se trata en efecto de un equipo escala laboratorio. Con respecto al trabajo realizado por Seyed, Seyed, 2013, p. 50, el diámetro total de trabajo se asemeja al obtenido para el homogeneizado de cada mezcla, al tratarse de baja alimentación-capacidad. Por último el número de paletas en relación a Mezaki, Masafumi, Ogawa, 2000, p. 144, resulta sobredimensionado para la cantidad que suele trabajarse (2,4,6 paletas).

Tabla 3.33. Dimensiones mezcladoras de paletas

	Pasta de moldeo blanca	Pasta de moldeo terracota	Juguetes lúdicos
Diámetro mínimo de las paletas (cm)	1,3	1,3	1,5
Velocidad axial ($m.s^{-1}$)	0,0205	0,0205	0,0205
Longitud de trabajo (m)	2,46	2,46	2,46
Número de paletas	22	22	22
Diámetro total de trabajo (cm)	0,33	0,32	0,41

Selección del equipo: Para la cantidad de material a procesar, se eligió una máquina para cada producto a nivel de laboratorio. De fabricante Sepor, operación batch, modelo SFR-0.1 que alcanza capacidades de 40-60 L. Dimensiones externas, largo: 1190 mm, ancho: 740 mm y alto: 770 mm; potencia del motor: 3 kW y peso: 330 kg. La Figura 3.21 muestra el esquema de acotaciones de la mezcladora horizontal de paletas seleccionada para el homogeneizado de las mezclas arcillosas para generación de pastas de moldeo y juguetes lúdicos.

**Figura 3.21.** Esquema de acotaciones para mezcladora de paletas

Principio de operación: Los materiales arcillosos provenientes del circuito de reducción de tamaño-clasificación junto con el carbonato de calcio, aglomerante celulósico y agua ingresarían al equipo para posterior producción de pastas de

moldeo; en tanto que para la elaboración de juguetes lúdicos, la operación unitaria de mezclado sería similar.

La Tabla 3.34, presenta los resultados del dimensionamiento de las máquinas extrusoras de acuerdo a lo detallado en la sección 2.4.2. De acuerdo a la literatura de Händle, 2009, p. 62, las potencias más usuales en equipos de extrusión cerámica están entre 400-750kW, en comparación con los resultados obtenidos, se tiene un menor consumo de energía por el nivel de escala en el equipo modelado.

Tabla 3.34. Dimensiones extrusora

Potencia del motor (HP)	1,6
Corriente del motor (A)	1,37

Selección del equipo: El equipo que se ajustó a los resultados obtenidos fue de fabricante “Nanjing Juli Chemical Machinery Co., Ltd.” Modelo SHJ-20 de capacidad $15 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Velocidad de giro 400 RPM, Caudal $2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, potencia del motor 3 kW, diámetro de la hélice 21,7 mm. La figura 3.22, presenta el esquema de acotaciones de la máquina extrusora seleccionada para conformado.

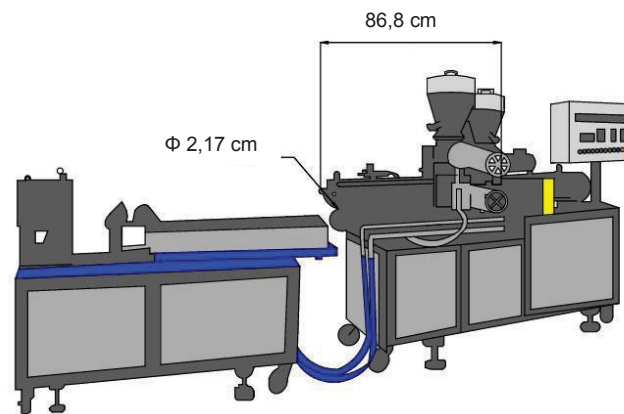


Figura 3.22. Esquema de acotaciones para extrusora

Principio de operación: la pulpa a trabajar, proviene de la mezcladora de paletas, es conformada y sale el producto por la galletera de la extrusora.

La Tabla 3.35, presenta los resultados de dimensionamiento de las empacadoras horizontales tipo flow-pack de acuerdo a lo descrito en la sección 2.4.2. De acuerdo a la literatura de Mahumder, 2013, pp. 7-8, las dimensiones de una envolvedora del tipo Pillow-Pack, están de 1:1, es decir anchoxalturaxprofundidad en 0,5x0,5x0,5 metros, semejante al ancho obtenido por modelado y la mitad de la altura en la banda transportadora. Se diferencia por el tamaño del producto a empacar, así como el volumen de empacados.

Tabla 3.35. Dimensiones empacadora horizontal tipo flow-pack

Ancho de la empacadora (cm)	45
Altura del rodillo (cm)	170
Longitud de la empacadora (cm)	200
Altura de la banda transportadora (cm)	90

Peso 700 kg. Principio de operación: las pastas de moldeo, obtenidas mediante extrusión, son transportadas hacia la empacadora, para posterior distribución al mercado. La Figura 3.23 muestra el esquema de acotaciones para la envolvedora horizontal tipo flow-pack seleccionada para empacado de las pastas de modelado, obtenidas por extrusión y con materias primas ecuatorianas.

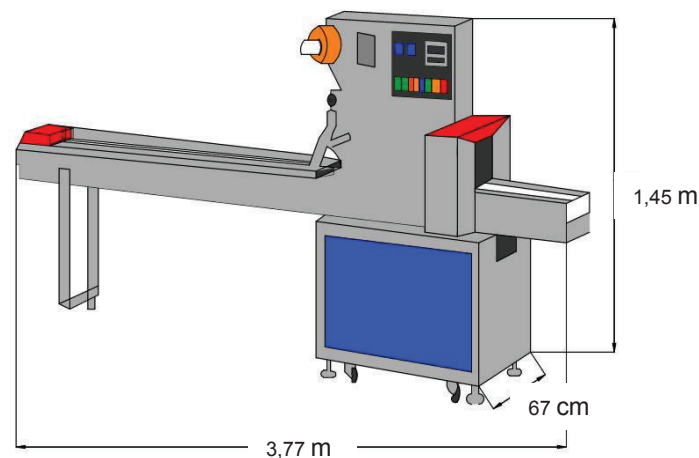


Figura 3.23. Esquema de acotaciones para empacadora horizontal tipo flow-pack

La Tabla 3.36 muestra los resultados del dimensionamiento de horno de mufla de acuerdo a lo expuesto en la sección 2.4.2. En relación con la literatura de Smothers, 2009, p. 241, las dimensiones de las paredes en el horno son similares con los obtenidos por modelado matemático para cocción de los juguetes lúdicos.

Tabla 3.36. Dimensiones horno de mufla

Dimensiones de paredes frontal y trasera (cm)	26 x 26
Dimensiones de paredes laterales, superior e inferior (cm)	26 x 26
Potencia (W)	500
Corriente (A)	4,17

Selección del equipo: El equipo que mejor se ajustó a los resultados fue uno a escala de laboratorio, marca Thermolyne, modelo 420, voltaje 240 V, corriente 22.9 A. Dimensiones externas; largo cámara: 14 pulg, ancho: 14 pulg, alto: 14 pulg. Operación Batch. Máxima temperatura: 1093 °C. Principio de operación: las pastas cerámicas conformadas en la extrusora, son transportadas hacia el horno de mufla donde son quemadas. La Figura 3.24 presenta el esquema de acotaciones correspondiente al equipo horno mufla seleccionado para la quema de las piezas cerámicas que darán como producto juguetes lúdicos tales como ladrillos y tejas a escala. Las piezas obtenidas mediante conformado en extrusora, pasarían al equipo para su cocción.

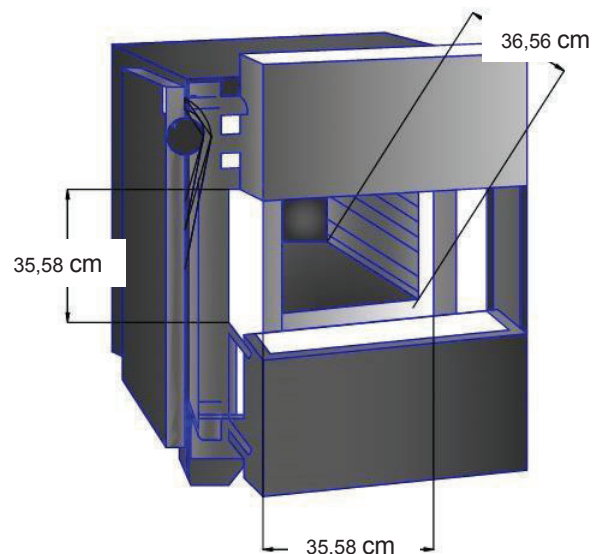


Figura 3.24. Esquema de acotaciones para horno mufla

Distribución de equipos en planta: Se planteó una distribución por el método de gamas ficticias. Para una planta que produzca 3 productos: pasta de molde blanca, terracota y juguetes, se presenta en la Tabla 3.37, los equipos necesarios así como la cantidad de horas a trabajar por cada uno en función de los productos a obtener en la planta:

Tabla 3.37. Horas máquina para planta multiproducto dos líneas de producción

Máquina	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Pasta Blanca	1/4:40	2/93:12	3/8:16	4/8:28	5/8:2	6/2:30	7/62:30	8/0:20	9/0:02	10/4:16	
Pasta Terracota	1/0:20	2/0:01	3/4:16	4/1:43	5/33:53	6/3:06	7/6:25	8/8:02	9/2:00	10/62:30	
Juguetes lúdicos				1/1:21	2/26:37	3/2:28	4/4:14	5/8:2	6/2:00		7/0:01

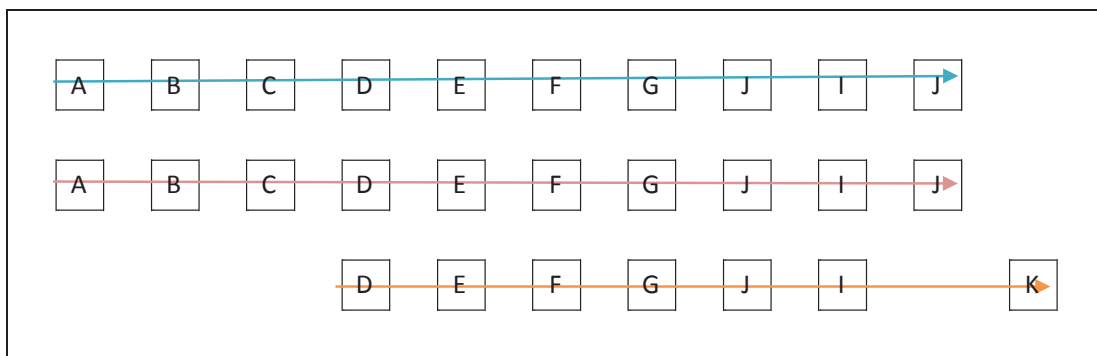
De acuerdo a la Tabla 3.37, los equipos seleccionados de catálogo para obtención tanto de pastas como juguetes lúdicos, arrojaron resultados de horas necesarias para obtener los productos. Teniendo en cuenta que solo pueden trabajar 40 horas semanales, la distribución idónea en planta sería la siguiente:

Tabla 3.38. Diagrama de proceso de los circuitos en planta

Nº	Tipos de máquina	Circuitos de productos fabricados		
		Pasta Blanca	Pasta Terracota	Juguetes
1	A			
2	B			
3	C			
4	D			
5	E			
6	F			
7	G			
8	H			
9	I			
10	J			
11	K			

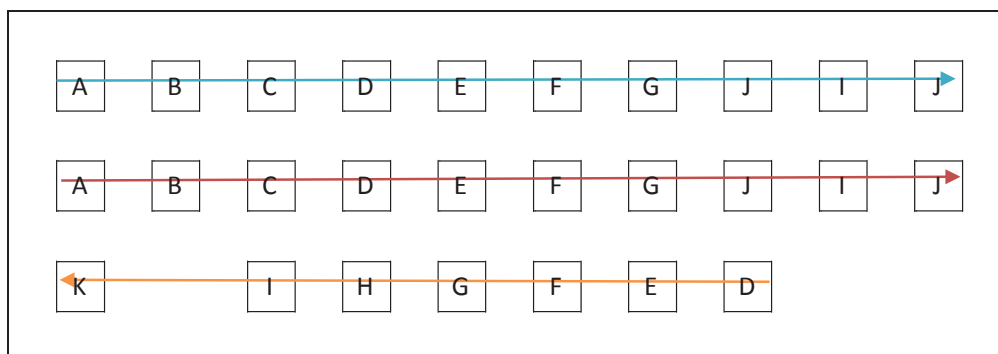
Los equipos están reemplazados por letras del alfabeto (A = tanque de agitación, B = Estufa, C= Cortadora, D = Caja alimentadora, E = Chancadora de mandíbulas, F = Chancadora de cono, G = Vibrotamiz, H = Mezcladora de paletas, I = Extrusora, J = Empacadora, K = Horno mufla). A lo largo de la producción de pastas tanto como de juguetes, se tiene un solo reflujo, se debe a la retroalimentación a la chancadora de cono, ya que selecciona un tamaño de partícula fino para obtención de fracciones inferiores a las 75 μm . No fue necesario aumentar maquinaria para optimizar los procesos dentro de la planta. La distribución de equipos en planta de acuerdo al orden de la Tabla 3.39, sería el siguiente:

Tabla 3.39. Rutas de los productos dentro de la planta organizada por procesos. Situación inicial



Se producen 870 paquetes/mes de pasta Blanca, 870 paquetes/mes pasta Terracota. Así como 1650 de 35 unidades paquetes/mes en juguetes lúdicos. La distribución de equipos optimizando espacios, se presenta en la Tabla 3.40:

Tabla 3.40. Rutas de los productos dentro de la planta organizada por procesos. Situación final



Se economiza espacio y se facilita la circulación del personal a trabajar dentro de la planta, haciendo en contravía la producción de pastas versus la producción de juguetes. El arreglo adecuado fue en forma de "I". La distribución de acuerdo al criterio de Franco, 2015, pp. 80,81,82,83, discrepa porque tiene distinto número de operaciones unitarias, a diferencia con la obtenida, el modelo es bastante acertado y no requirió aumentar para optimizar recursos. Contraste de hipótesis: de acuerdo al objetivo, definición del diagrama de flujo y dimensionamiento de equipos, se analiza el cumplimiento del mismo así como nuevas hipótesis para trabajos futuros.

Tabla 3.41. Contraste de hipótesis definición diagrama de flujo dimensionamiento de equipos

	Ho Verdadera	Ho Falsa
Acepta	Se acepta, porque se obtuvieron equipos escala laboratorio para procesar 50 kg/día de materias primas arcillosas. Disposición en forma de I en contracorriente.	
Rechaza		

La hipótesis nula H_0 , se acepta, ya que se cumplió con el objetivo planteado de dimensionar equipos para producir pastas de moldeo Blanca y Terracota así como juguetes lúdicos (ladrillos a escala, tejas). Estudios futuros: Se recomienda realizar la simulación una vez obtenidos los modelos matemáticos de los equipos para completar el diseño de planta. Una vez completado esto, se puede definir la respectiva puesta en marcha.

3.5 EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

Evaluación de localización de planta. Para definir en donde se desarrollaría el proyecto, se tuvieron en cuenta dos provincias: Cotopaxi y Pastaza (de donde provienen materias primas arcillosas). Para determinar la localización de la planta se tuvieron en cuenta los factores de localización industrial. Como factores físicos se tiene las materias primas y energía, los costos y la disponibilidad de estos factores tanto en Puyo como en La Victoria, fueron posibles. Los factores

económicos y políticos son el transporte y acción de estado. Los factores demográficos corresponden a mano de obra y mercado. Tanto en el Puyo como La Victoria se tuvo mano de obra disponible. Para los aditivos en el Ecuador la empresa Cecal dispone de Carbonato de Calcio lo cual se empleó para generación de aglomerante reciclado de celulosa así como anti plástico. En cuanto a energía los dos sitios fueron favorables para instalación de la planta porque existieron redes de distribución cercanas. (Vaughn, 2010, p.38).

El nicho de mercado consistió en centros de educación primaria, estudiantes de Jardín de Infantes, en lo referente a la distribución de las pastas de moldeo y juguetes lúdicos, además de universidades en donde se tiene la carrera de Arquitectura para la distribución de juguetes lúdicos, que son los ladrillos a escala, para construcción de maquetas; la distribución no sería mensual, sino de acuerdo a la temporada en que los clientes requieran del producto. En torno a los centros de educación primaria, en el régimen costa (Islas Galápagos y Litoral), el ciclo escolar dura alrededor de diez meses, comienzan clases a principios del mes de abril y terminan en enero, en el régimen sierra (Amazonía y Región Interandina), las clases inician en septiembre y terminan en junio del siguiente año. Entonces los meses de venta serían abril y septiembre. En cuanto a los estudiantes de Arquitectura, las universidades en el país trabajan por semestres, en los cuales, cuatro meses son para estudio, el quinto para vacaciones y el siguiente para matriculación, dos semestres por año, el primero comenzaría en abril y finalizaría en septiembre, el siguiente comenzaría en octubre y terminaría en marzo. De igual manera se realizarían dos ventas, una en el mes de abril y otra en el mes de octubre. Validez y confiabilidad: La validez de los resultados obtenidos se confirma en la comparación con trabajos anteriores.

Los precios de adquisición de terreno tanto en La Victoria como en el Puyo se presentan en la Tabla 3.42. De acuerdo al criterio de Chávez, 2010, p. 48, los costes de terrenos en el presente proyecto son excelentes, es decir se economiza capital en los dos casos. Se recomendaría presupuestar costos para economizar recursos. En cuanto al precio del terreno menor coste corresponde al Puyo.

Tabla 3.42. Costos de terreno

Lugar	Hectáreas	m ²	coste US \$
La Victoria-Pujilí	3.00	30000	150000
Puyo	0.12	1200	18000

Los datos correspondientes a las distancias en kilómetros entre Pujilí y el Puyo desde las áreas fuente de materias primas (El tingo, Sigchos y El Puyo), con el respectivo costo de flete se presentan en la Tabla 3.43:

Tabla 3.43. Distancias entre localización de la planta y áreas fuente

De	A	
	La Victoria	Puyo
El Tingo	39,02 km	134,46 km
Sigchos	31,64 km	131,33 km
Puyo	100,35 km	0,00 km
Total	171,01 km	265,79 km
Costo Flete:	4446,26 US \$	6910,54 US \$

Como lo muestra la Tabla 3.43, ubicar la planta en La Victoria sería conveniente respecto al coste de transporte desde las áreas fuente. Tanto en La Victoria como en el Puyo, se dispone de fácil acceso a los servicios de agua y energía eléctrica para el desarrollo del presente proyecto. Con respecto a la literatura de Vallhonrat, Corominas, 1991, p. 16, la localización óptima resultante se da a valores bajos, en efecto teniendo en cuenta solo este parámetro sin contar con la distancia hacia los canales de distribución (destino final, consumidores), sería mejor localizar la planta en “La Victoria”. En conclusión, sin embargo de los costes conocidos, la planta se localizaría en la provincia del Puyo.

La pre factibilidad económica, se evaluó con los índices económicos TIR y VAN así como la determinación del tiempo a recuperarse la inversión inicial. Se realizó además el análisis de sensibilidad para determinar los casos en que el proyecto se vería afectado financieramente. La Tabla 3.44 presenta los costos fijos de inversión.

Tabla 3.44. Costos fijos de inversión

Terreno US \$	18000,00
Obra Civil US \$	10000,00
Maquinaria Fija US \$	178769,34
Medios Auxiliares US \$	126491,08
Total US \$	333260,42

De acuerdo al criterio de Campbell, Brown, 2003, p. 70, los costos fijos de inversión son aceptables para puesta en marcha del proyecto. Este resultado puede mejorarse manejando presupuestos, incluso una vez en ejecución, reduciendo gastos innecesarios. Al grupo de inversionistas interesados les correspondería abonar US \$ 333.260,42 para compra de equipos, instalación, construcción y puesta en marcha de la planta. La Tabla 3.45, muestra los precios de maquinaria incluidos impuestos:

En cuanto a los costes de transporte, se presentan en la Tabla 3.45. Los resultados obtenidos de precios adicional llevan los cálculos del IVA, así como del FDI y del ICE. De acuerdo al trabajo realizado por Beltrán, Sigcha, 2008, p. XLVIII, los costes de maquinaria son competitivos, muy buenos y bajos. Lo que representa una adquisición a coste aceptable.

Tabla 3.45. Precios de maquinaria incluidos impuestos

Equipo	Valor Unitario	Aranceles			TOTAL
		IVA 12 %	FDI 0,5 %	ICE 5 %	
Tanque agitador	1200,00	144,00	0,60	60,00	1404,60
Estufa de secado	10000,00	1200,00	5,00	500,00	11705,00
Cortadora	12000	1440,00	6,00	600,00	14046,00
Caja alimentadora	7997,00	959,64	4,00	399,85	9360,49
Chancadora de mandíbulas	5030,00	603,60	2,52	251,50	5887,62
Chancadora de cono	3650,00	438,00	1,83	182,50	4272,33
Vibrotamiz	2650,00	318,00	1,33	132,50	3101,83
Mezcladora de Paletas	6254,00	750,48	3,13	312,70	7320,31
Extrusora	13000,00	1560,00	6,50	650,00	15216,50
Empacadora	10000,00	1200,00	5,00	500,00	11705,00
Horno	3916,00	469,92	1,96	195,80	4583,68

3.5.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN

La Tabla 3.46 presenta a los precios conocidos de luz y agua potable. De acuerdo al trabajo de Guillén, Sempertegui, 2011, p. 48; Sánchez, 2007, p. 42, los costes obtenidos son buenos, aceptables estos costes no se pueden reducir, por lo que se aceptan.

Tabla 3.46. Costos de luz y agua potable

Insumos	Precio (USD/mes)
Luz	632,81
Agua Potable	14630,98

La Tabla 3.47 muestra los costos correspondientes a mano de obra totales. Correspondientes a los sueldos a ser pagados a los siguientes empleados: Ingeniero en jefe, administrador así como peonaje, el número de trabajadores en cada área, así como sueldos se detallan. Con respecto a la literatura de Sacoto, 2013, p. 180, los costes son relativamente bajos, muy buenos por lo tanto aceptables.

Tabla 3.47. Costos de mano de obra totales

En un mes de trabajo			
Cargo a ocupar	Sueldo Imputable US \$	Número de trabajadores	Sueldo total US \$
Ingeniero Jefe	1000,00	3	3000,00
Administrador	500,00	1	500,00
Peón	318,00	9	2862,00

Los precios de materias primas se presentan en la Tabla 3.48. De acuerdo al trabajo de Cortés, 2014, p. 39, el precio del caolín está en 1,63 USD/kg, discrepa del resultado obtenido tratándose de caolín obtenido en fábrica, a diferencia del extraído directamente de mena. Para el mineral arcilloso La Victoria, se asemeja el coste. Cabe aclarar que los tres minerales contienen caolinita.

Tabla 3.48. Precios de materias primas

Materia Prima	Precio (USD/Kg)
Caolín Puyo	3,00
Mineral arcilloso La Victoria	1,00
Arcilla Roja Sigchos	2,00

En cuanto a los costes de transporte, la Tabla 3.49 presenta los precios de vehículos requeridos en la planta, incluidos impuestos. De acuerdo al trabajo de Rojas, Villabona, 2007, p. 97, el precio de la volqueta es competitivo (55000,00 USD).

En comparación con la literatura de Zenil, 2011, p. 56, los precios de cargador tanto de montacarga son competitivos. Sin embargo, se recomienda realizar un presupuesto para optimizar y mejorar los costes de vehículos para economizar gastos en planta.

Tabla 3.49. Precios de vehículos incluidos impuestos

Tipo	Marca	Modelo	Valor Unitario	Aranceles			Precio final US \$
				IVA 12 %	FDI 0,5 %	ICE 5 %	
Volqueta	HINO	FM 2626 2008	75000,00	9000,00	0,00	0,00	84000,00
Minicargador	BOBCAT	943 1994	13000,00	1560,00	0,00	0,00	14560,00
Montacarga	TOYOTA	7FBEU15	24938,46	2992,62	0,00	0,00	27931,08

La Tabla 3.50, presenta los resultados del cálculo de los costos de producción al mes como se detalló en la sección 2.5.3.

En comparación con la literatura de Sánchez, Guaño, 2012, p. 147, los costos de producción son buenos, competitivos, por lo tanto son aceptables.

Tabla 3.50. Costos de producción mensuales

Producto	Materias primas USD	Mano de obra USD	Servicios básicos USD	Total USD
Pasta de moldeo Blanca	1184,00	2154,00	14642,38	17980,38
Pasta de moldeo Terracota	996,50	2154,00	14646,81	17797,31
Juguetes lúdicos	937,50	2154,00	714,02	3805,52

Las pastas de moldeo fueron más costosas de producir que los juguetes lúdicos. Esto se debió a que para la producción de dichas pastas requirió mayor cantidad de equipos tanto para la generación del aglomerante como del producto en sí, adicional los costos de la Cal P-24 como antiplástico y el material de empackado.

Los detalles de costos de producción se encuentran en el ANEXO VII.

En la Tabla 3.51, se presentan los resultados de los costos unitarios de producción, de acuerdo a lo explicado en la sección 2.5.3. De acuerdo con la literatura de Petley, 1997, p. 5, los costos unitarios de producción son aceptables.

Tabla 3.51. Costos unitarios de producción

Producto	Costo unitario de producción US \$
Pasta de moldeo Blanca	20,67
Pasta de moldeo Terracota	20,46
Paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos	2,31

3.5.2 FIJACIÓN DE PRECIOS

La Tabla 3.52 presenta los resultados de la fijación de precios, se determinó con el 25 % sobre el costo de producción unitario de acuerdo a la descripción de la sección 2.5.4.

Tabla 3.52. Precios de venta al público

Producto	Precio de venta al público USD
Pasta de moldeo Blanca	25,84
Pasta de moldeo Terracota	25,58
Paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos	2,89
Paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos	3,95
Paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos	5,00

Los precios de venta al público en pastas de moldeo fueron más altos respecto al precio de venta al público de juguetes lúdicos, por lo que se planteó un análisis de sensibilidad en donde la variable fue el precio de venta al público incrementado en un 36,68 % para el paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos, el más alto fue 5,00 USD y el valor intermedio 3,95 USD. En comparación con los costes de la competencia (Pasta Jovi Blanca 4,68 USD, Pasta Jovi Terracota 4,68 USD), los costes de pasta para modelar resultaron altos, se requiere entonces optimizarlos mediante el ahorro-presupuestos en los costes de producción.

En tanto que para los juguetes lúdicos de las tres alternativas con respecto a la competencia van desde 7,77 USD hasta 22,20 USD resultando competitivos y vendibles fácilmente, beneficiando ampliar a futuro más gama de juguetes (pueden variar las formas, aumentar el número de unidades por pack, hacer promociones).

3.5.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA UNA DURACIÓN DE 10 AÑOS

La Tabla 3.53 presenta los resultados óptimos para la viabilidad del proyecto. Se fijó un interés de banco del 17 % anual; el propósito de la TIR es que sea mayor a dicho interés, con la finalidad de que el grupo de inversionistas prefiriera poner su dinero en el proyecto y no en el banco.

Tabla 3.42. Flujo de fondos para distintos escenarios realistas en los que se ha variado el precio de venta al público del paquete individual de juguetes lúdicos

AÑO	2013	2014 (USD)	2015 (USD)	2016 (USD)	2017 (USD)	2018 (USD)	2019 (USD)
Escenario Comercial Esperado 1 (PVP: 2,89 USD)	47 365,41 (USD)	48 458,06 (USD)	48 458,06 (USD)	50 097,00 (USD)	50 097,00 (USD)	48 458,06 (USD)	49 550,70 (USD)
Escenario Comercial Esperado 2 (PVP: 3,95 USD)	61 405,11 (USD)	62 614,36 (USD)	62 614,36 (USD)	64 428,20 (USD)	64 428,20 (USD)	62 614,36 (USD)	63 823,60 (USD)
Escenario Comercial Esperado 3 (PVP: 5,00 USD)	75 312,36 (USD)	76 637,11 (USD)	76 637,11 (USD)	78 624,20 (USD)	78 624,20 (USD)	76 637,11 (USD)	77 961,85 (USD)

Tabla 3.53. Flujo de fondos para distintos escenarios realistas en lo que se ha variado el precio de venta al público del paquete individual de juguetes lúdicos (continuación...)

AÑO	2020 (USD)	2021 (USD)	2022 (USD)	VAN (17 %) USD	TIR %	Tiempo de recuperación de la inversión
Escenario Comercial Esperado 1 (PVP: 2,89 USD)	49 550,70 (USD)	49 550,70 (USD)	50 097,00 (USD)	- 105 543,11 (USD)	8,00	7 años
Escenario Comercial Esperado 2 (PVP: 3,95 USD)	63 823,60 (USD)	63 823,60 (USD)	64 428,20 (USD)	- 39 384,25 (USD)	14,00	6 años
Escenario Comercial Esperado 3 (PVP: 5,00 USD)	77 961,85 (USD)	77 961,85 (USD)	78 624,20 (USD)	26 150,47 (USD)	19,00	5 años

Para una inversión inicial de 333 260,42 USD, los dos primeros escenarios comerciales presentaron cifras de valor actual neto (VAN) inferiores a cero, lo que implicaría pérdidas para el grupo de inversionistas, así como valores de tasa interna de retorno (TIR) inferiores al interés bancario, por lo cual, estos dos precios quedaron descartados para la viabilidad económica del proyecto.

En comparación con el criterio de Domínguez, 2014, p. 133, se tiene una buena recuperación a los 5 años, en tanto que la TIR difiere del 13 % al 19 %, discrepan debido a que 13 % se da cuanto se trata de la más mala variante, es decir que al 19 % se tiene un buen resultado.

De acuerdo el que cumplió con el valor de la tasa interna de retorno mayor al 17 % fue cuando el precio de venta al público del paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos fue en USD 5,00. En este escenario, el tiempo de recuperación de la inversión fue el más bajo de todos.

3.5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó una variación en las variables que afectarían a la rentabilidad del proyecto: volumen de ventas y los precios de venta al público en los tres productos. En total se realizaron dos análisis de sensibilidad económica para completar el análisis de viabilidad del proyecto en caso de ejecutarse. Esto con la finalidad de evaluar la rentabilidad de una forma más acorde a lo que pudiera pasar. (Gil, et al, 2015, p. 39)

3.5.4.1 Variación del volumen de venta en juguetes ludicos

Los resultados del análisis sensibilidad realizado en función de la influencia cuando se varió el volumen de ventas del producto juguetes lúdicos. Se presentan en la Tabla 3.54:

Tabla 3.54. Influencia de la variación del volumen de ventas de juguetes en las entradas netas de capital

AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Escenario Pesimista	-719 051,17 (USD)	-723 754,63 (USD)	-720 432,01 (USD)	-725 175,25 (USD)	-723 306,27 (USD)	-714 669,33 (USD)	-718 321,50 (USD)
Escenario Esperado	75 312,36 (USD)	76 637,11 (USD)	76 637,11 (USD)	78 624,20 (USD)	78 624,20 (USD)	76 637,11 (USD)	77 961,85 (USD)
Escenario Optimista	81 783,36 (USD)	83 108,11 (USD)	83 108,11 (USD)	85 095,20 (USD)	85 095,20 (USD)	83 108,11 (USD)	84 432,85 (USD)

El escenario optimista presentado fue cuando se asumió que las ventas 2013 se realizaron en un 100 %, esto se daría cuando en todas las universidades a distribuir el producto el número de estudiantes por aula sería de 30. El escenario realista presentado fue cuando se tomó en cuenta que por aula el número de estudiantes era de 20 mientras que para el pesimista, este número fue de 10.

Tabla 3.54. Influencia de la variación del volumen de ventas de juguetes en las entradas netas de capital (continuación...)

AÑO	2010	2021	2022	VAN (17 %) USD	TIR %	Variación TIR %
Escenario Pesimista	-717 533,02 (USD)	-716 941,67 (USD)	-718 849,89 (USD)	-3 153 506,68 (USD)	Sin Valor	-100,00
Escenario Esperado	77 961,85 (USD)	77 961,85 (USD)	78 624,20 (USD)	26 150,47 (USD)	19,00	0,00
Escenario Optimista	84 432,85 (USD)	84 432,85 (USD)	85 095,20 (USD)	72 201,79 (USD)	21,00	10,53

La variación en el volumen de ventas a partir del escenario esperado fue del 5,89 %. El escenario pesimista arrojó flujos de caja negativos, lo cual implicaría que el proyecto no sea rentable, para compensar los gastos, la solución sería adquirir menos materia prima, ahorro de energía eléctrica y agua potable, de tal manera que el volumen de ventas sea acorde a la producción.

Otra alternativa, la exportación de los productos no vendidos a nivel nacional. En base a los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad el escenario optimista presentó una variación en la tasa interna de retorno del 10,53 % con respecto al escenario esperado.

En efecto el proyecto resulta en 10,53 % sensible a la variación del volumen de ventas para juguetes lúdicos, Con respecto al trabajo de Castillo, 2009, pp. 55-56.

3.5.4.2 Variación del precio de venta al público

La Tabla 3.55, presenta los resultados del análisis de sensibilidad cuando el factor a variar fue el precio de venta al público de todos los productos. A partir de los datos obtenidos del análisis de sensibilidad inicial, se realizó una variación del 10 % en el precio de venta al público, para los criterios optimista y pesimista. Para la pasta de moldeo blanca los precios se fijaron en 28,42 USD y 23,26 USD respectivamente, en tanto que en pasta de moldeo terracota los precios fueron 28,14 USD y 23,02.

Por último, el paquete de juguetes lúdicos tuvo los precios 5,50 USD y 4,50 USD.

Tabla 3.55. Influencia de la variación del precio de venta al público en las entradas netas de capital.

AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Escenario Pesimista	-757 090,97 (USD)	-857 151,67 (USD)	-853 829,05 (USD)	-860 214,70 (USD)	-858 345,72 (USD)	-848 066,37 (USD)	-852 813,48 (USD)
Escenario Esperado	75 312,36 (USD)	76 637,11 (USD)	76 637,11 (USD)	78 624,20 (USD)	78 624,20 (USD)	76 637,11 (USD)	77 961,85 (USD)
Escenario Optimista	121 102,16 (USD)	122 780,03 (USD)	122 780,03 (USD)	125 296,80 (USD)	125 296,80 (USD)	122 780,03 (USD)	124 457,89 (USD)

Tabla 3.55. Influencia de la variación del precio de venta al público en las entradas netas de capital (continuación...)

AÑO	2010	2021	2022	VAN (17 %) US \$	TIR %	Variación TIR %
Escenario Pesimista	-852 025,00 (USD)	-851 433,65 (USD)	-853 889,34 (USD)	-3 617 483,14 (USD)	Sin Valor	-100,00
Escenario Esperado	77 961,85 (USD)	77 961,85 (USD)	78 624,20 (USD)	26 150,47 (USD)	19,00	0,00
Escenario Optimista	124 457,89 (USD)	124 457,89 (USD)	125 296,80 (USD)	124 457,89 (USD)	35,00	84,21

En cuanto a la disminución del precio de venta al público en los productos, el resultado fue que se presentaron flujos de caja negativos, de lo que se concluyó en caso de existir problemas de inflación y posterior baja de precios, se tendría una pérdida para la empresa. La solución sería exportar al precio del escenario esperado. En cambio si las expectativas fueran optimistas, la tasa interna de retorno incrementaría en un 84,21 %, resultado de aumento de salarios, ingresos para el nicho de mercado. De acuerdo al trabajo de Reinoso, Vega, 2013, p. 143, el valor de la TIR se parece al variar el precio de venta al público, así como el proyecto se vuelve sensible en el escenario pesimista.

Contraste de hipótesis: La Tabla 3.56, presenta el respectivo análisis del contraste de hipótesis si se acepta o rechaza de forma total o parcial. De acuerdo a los resultados obtenidos para cumplimiento del objetivo evaluación de la pre factibilidad económica de la planta diseñada. La hipótesis nula se acepta parcialmente, debido a que de acuerdo a los resultados, las pastas de moldeo resultan no competitivas económicamente respecto a aquellas provenientes de España. En este aspecto necesita mejorarse. Por otra parte, el proyecto resulta rentable económicamente logrando una TIR del 19 %, la inversión inicial se recuperaría en 5 años.

El proyecto se vuelve sensible en 100 % cuando se manejaron escenarios pesimistas. En tanto cuando se aumentan los precios de venta al público la tir

varía en un 84,21 % logrando un valor del 35 %, en otro escenario planteado variando el volumen de ventas de juguetes lúdicos la TIR varía en un 10,53 % alcanzando un valor del 21 %. De los escenarios pesimistas la TIR aumenta, mejorando la rentabilidad del proyecto.

Tabla 3.56. Contraste de hipótesis evaluación de la prefactibilidad económica de la planta diseñada

	Ho Verdadera	Ho Falsa
Acepta		Se acepta parcialmente, debido a que no se cumplió con la hipótesis inicial que los costes de productos fuesen inferiores respecto a la competencia. Sin embargo, el proyecto resulta económicamente viable al obtener la TIR en un 19 % (mayor al 17 % bancario) lo cual favorece que se invierta en el mismo. Por otra parte, este valor sube al 21 % si se incrementaran las ventas de juguetes, en cambio se lleva hasta el 35 % cuando el precio de venta al público sube. El proyecto es sensible al 100 % cuando los escenarios son pesimistas.
Rechaza		

Trabajos futuros: Realizar estudio de pre factibilidad social, esto para obtener la aprobación de los residentes cercanos al Puyo. Contar con el apoyo de los sectores sociales, municipios, vecinos. Así como realizar un análisis minucioso de la pre factibilidad ambiental. Se recomienda un análisis de presupuestos para optimizar-reducir los costes de inversión.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la caracterización físico-química mineralógica de pastas Jovi provenientes de España, las materias primas a emplearse para desarrollo de pastas frías fueron: Caolín Puyo, Arcilla Verde Puyo, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Gris Puyo. De acuerdo a la caracterización físico-química mineralógica materias primas para la obtención de juguetes cerámica roja (ladrillos, tejas a escala), fueron seleccionados los siguientes materiales: mineral arcilloso “La Victoria”, Arcilla Roja Sigchos, Arcilla Verde Puyo y Arcilla Gris Puyo.
- Fue factible en forma técnica obtener pastas de moldeo: Se tuvo la pasta de moldeo blanca con características físicas similares a las de la Pasta Jovi Blanca cuando se realizó la formulación: Caolín Puyo 80 % en peso, aglomerante celulósico al 5 % y Carbonato de calcio como anti plástico al 15 %. Se obtuvo la pasta de moldeo terracota con características físicas similares a las de la Pasta Jovi Terracota cuando se llevó a cabo la formulación: Caolín Puyo 40 %, Arcilla Roja Sigchos 40 % con aglomerante celulósico al 5 % y Carbonato de calcio como anti plástico al 15 %.
- Con altas porosidades (alrededor del 70 %) las pastas obtenidas en laboratorio se aproximaron a las Pastas comerciales, en tanto que en contenido de elementos químicos, se parecen los contenidos respecto a las pastas comerciales. En cuanto al contenido de minerales, discrepó (el contenido de Caolinita se mantuvo, en tanto que respecto a la calcita difirió en especial para la pasta Blanca).
- Fue factible técnicamente producir juguetes lúdicos, debido a que cumplió con los requerimientos: la mezcla óptima fue de 25 % Arcilla Roja Sigchos y 75 % mineral arcilloso “La Victoria” al presentar las pérdidas por ignición más bajas. El estudio térmico de las probetas “quemadas” a diferentes temperaturas, permitió determinar la temperatura de sinterización óptima en 850 ° C, esto

infiere economizar energía. La Tonalidad de los productos a obtener fue anaranjada. Además de presentar niveles de metales nocivos inferiores a los referenciales de acuerdo al test TCLP.

- Se dimensionó una planta multiproducto dos líneas de producción a escala laboratorio, con una capacidad de procesamiento 50 kg/día. Se localizaría en la provincia del Puyo. Se modelaron once equipos en total (Tanque de lixiviación, Estufa de secado, Trituradora de celulosa, Caja alimentadora, Chancadora de mandíbulas, Trituradora de cono, Zaranda vibratoria, Mezcladora de paletas, Extrusora, Empacadora horizontal, Horno mufla), se disponen en planta en l a contracorriente correspondiente pastas de modelado respecto a la línea de juguetes lúdicos, economizando espacio y facilitando la movilidad de trabajadores.
- El proyecto resultó rentable, cuando los precios de venta al público fueron: Pasta de moldeo blanca USD 20,67, Pasta de moldeo terracota USD 20,46 y Paquete de 35 unidades de juguetes lúdicos USD 5,00. La TIR fue de 19 %, mientras que el valor presente neto era de USD 31992,51, la inversión inicial se recuperaría en 5 años. El proyecto resulta sensible al 100 % cuando se manejan posibles escenarios pesimistas, en tanto que la TIR sube al 21 % incrementando el volumen de ventas en juguetes, en cambio sube la TIR al 35 % en el caso de que subieran los precios de venta al público.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar una simulación de la planta diseñada para optimizar parámetros de funcionamiento, así también tener la certeza de que funcione de forma más cercana a lo práctico o a tiempo real.
- Manejar presupuestos para mejorar los costes de producción, en efecto, reducir los costes de inversión y hacer que las pastas de moldeo sean mejores económicamente respecto a los precios de la competencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acton, A., (2012). *Aluminosilicatos, Avances en Investigación y Aplicaciones*. (1ra ed.). Atlanta, Estados Unidos: A Scholarly Editions.
2. Aguilera, G., Brito, S., Vizcaíno, B., Instituto Nacional de Investigación Geológico Metalúrgico (INIGEMM), (2012). Mapa Rocas y Minerales Industriales del Ecuador.
3. Afanador, N., Ibarra, A., López, C., (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Revista Épsilon*, 20, 101-119.
4. Albors, J., Molina, X., (2001). La difusión de la innovación, factor competitivo en redes interorganizativas. El caso de la cerámica valenciana. *Economía industrial*, (339), pp. 167-176.
5. Albright, L., (2008). *Manual de Ingeniería Química Albright*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: CRC Press.
6. Allen, T., (2003). *Muestreo de Polvos y determinación del tamaño de partícula*. (1ra. ed.). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
7. Álvarez, U., González, I., López, L., Manilla, D., Ortega, G., Romero, M., Sánchez, A., Vásquez, S., Vega, M., (2005). *Química II Manual de actividades experimentales para el alumno*. (2da. ed.). México, México: Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades.
8. Álvarez, S., (2014). *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Recuperado de base de datos Universidad de Cuenca. (URI 12456789/5529).
9. Álvarez, A., Chacho, G., (2015). *Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José*

de Balzay y Racar. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Química). Recuperado de base de datos Universidad de Cuenca. (URI 123456789/23242).

10. Andrade, F., Al-Qureshi, H., Hotza, D., (2011). Medición de la plasticidad en arcillas: Una revisión. *Applied Clay Science*, 51, 1-7. doi: 10.1016/j.clay.2010.10.028.
11. Anyakora, N., (2013). Caracterización y desarrollo de evaluación de trabajos acuosos sobre materiales de ladrillo. *Revista Internacional de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*. 3(3), 69-79.
12. Akinmosin, A., Adeigbe, O., Oyenmakinde, O., (2001). Escaneo electrónico al microscopio para descripción del aceite Afowo depósitos de arenas al sur este de Nigeria. *Ciencias de la Tierra Revista*, 15(1). 1-10.
13. Akwilapo, L., Wiik, K., (2003). Propiedades cerámicas de arcillas caoliníticas. *Boletín de la Sociedad Química de Etiopía*, 17(12), 147-154.
14. Arata, A., (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. (1ra. ed.). Santiago, Chile: RIL editores.
15. ARCOM. Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN). (2010). Recuperado de: <http://www.arcom.gob.ec/#>, (Agosto, 2016).
16. Arneson, W., Brickell, J., (2007). *Química clínica: Una perspectiva de laboratorio*. (1ra. ed.). Filadelfia, Estados Unidos: Davis Company.
17. Atta, K., (2013). *Modelado y optimización on-line de chancadoras de cono*. (Tesis de maestría en control automático). Recuperado de base de datos Universidad de Tecnología Luleá. URI 43098030.
18. Balmfort, N., Provenzale, A., (2008). *Mecánica de Fluidos Geomorfología*. (1ra. ed.). Berlín, Alemania: Springer.

19. Baltuille, J., Rey, J., Vega, J., Zapardiel, J., Marchán, C., (2002). *Inventario Nacional de Arcillas Especiales: (Paligorskita/Attapulgita, Semiolita y Bentonita)*. (1ra. ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
20. Baltuille, J., (2007). *Exploración de arcillas cerámicas para el desarrollo habitacional de la región Gorgol-Brakna (República Islámica de Mauritana)*. (1ra. ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
21. Balukhovskiy, A., Khain, V., (1997). *Historical Geotectonics –Mesozoic and Cenozoic*. (1ra. ed.). Ohio, Estados Unidos: CRC Press.
22. Bansal, N., Singh, J., Lamon, J., Choi, S., Mahmoud, M., (2010). *Procesamiento y propiedades de cerámicas avanzadas y compuestos*. (1ra. ed.). Nueva Jersey, Estados Unidos: Sociedad Americana de Cerámica.
23. Barrios, J., Navas, J., Lopez, L., Montealegre, L., (1991). *Características estructurales y mineralógicas de cerámicas campaniformes procedentes de Monturque (Córdoba)*, 30(3), 187-193.
24. Barroso, S., Ibáñez, J., (2014). *Introducción al conocimiento de minerales*. (1ra. ed.). Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
25. Bartolomé, J., (1997). El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 26(1), 7-19.
26. Base de datos del Banco Central del Ecuador (BCE). Recuperado de: <https://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotxNandinaPa isConGraficojsp>. (Agosto, 2016).

27. Beltrán, G., Sigcha, M., (2008). *Análisis financiero de la planta cerámica de la UTPL y de los costos de los productos complementarios, año 2007.* (Proyecto de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero en Administración en Banca y Finanzas). (URI: 12346579/2414).
28. Bengisu, M., (2001). *Ingeniería Cerámica.* (1ra. ed.). Berlín, Alemania: Springer.
29. Bergada, J., (2015). *Mecánica de fluidos: Breve introducción teórica con problemas resueltos.* (2da. ed.). Barcelona, España: Iniciativa digital politécnica (Universitat Politècnica de Catalunya).
30. Bergaya, F., Lagaly, G., (2013). *Manual de Ciencia sobre las Arcillas.* (2da. ed.). Amsterdam, Irlanda: Elsevier.
31. Board, N., (2010). *Manual de las Modernas Industrias de Empacado.* (2da. ed.). Nueva Delhi, India: Asia Pacific Business Press, Inc.
32. Boch, P., Niepce, J., (2010). *Materiales cerámicos: Procesos, Propiedades y Aplicaciones.* (1ra. ed.). Newport Beach, Estados Unidos: ISTE Ltd.
33. Buchanan, R., Park, T., (1997). *Química Cristalográfica de Materiales.* (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Marcel Dekker.
34. Callister, W., (2007). *Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales.* (1ra. ed.). Barcelona, España: Reverté.
35. Campbell, H., Brown, R., (2003). *Análisis Beneficio-Costo: Financiamiento económico análisis usando hojas de cálculo.* (1ra. ed.). Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
36. Cando, M., (2010). *Desarrollo y caracterización de arcillas modificadas para aplicaciones industriales.* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Recuperado de Repositorio Digital EPN (Núm: 1500/1991).

37. Carson, W., Petro, G., (2013). How to Design Efficient and Reliable Feeders for Bulk Solids. *Jenike & Johanson Incorporated*, 1(1), 1-16.
38. Casal, J. y Mateu E. (2003). Tipos de muestreo. *Epidem. Med. Prev.* 1 (1), 3-7.
39. Caselles, M., Gómez, M., Molero, M., Sardá, J., (2015). *Química aplicada a la Ingeniería*. (2da. ed.). Buenos Aires, Argentina: UNED.
40. Castañeda, N., Hua, B., Yang, S., Li, L., González, A., (2000). *Elementos de la tecnología cerámica. Misión China en Ráquira proyecto cerámica y porcelana*. (1ra.ed.). Bogotá, Colombia: Artesanías de Colombia.
41. Castellanos, O., (2006). Caracterización preliminar para arcillas bauxíticas de la vereda Mesitas, Municipio de Aipe, Huila. *Revista de la facultad de ciencias básicas*, 4(1), 3-9.
42. Castillo, M., (2009). *Plan de negocios para la empresa Cerluj dentro de modelo de negocios inclusivos de Cerart-UTPL*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera en Administración de Empresas). Recuperado de Repositorio Digital UTPL. (URI: 123456789/782).
43. Chakraborty, A., (2014). *Transformación de Fases en Arcillas Caoliníticas*. (1ra. ed.). Nueva Delhi, India: Springer.
44. Chávez, M., (2010). *Estudio de localización para una empresa fabricante de herramientas*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial). Recuperada de Repositorio Industrial UNAM. (URI: 100/1398).
45. Cheremisinoff, (2000). *Manual de equipos para procesamiento químico*. (1ra.ed.). Nueva Jersey, Estados Unidos: Elsevier.
46. Contreras, J., (2013). *Propuesta de mejora de la producción y calidad mediante la creación de un nuevo sistema de reparación de pulpa para*

papel en la empresa papelera Asuncorp S.A. (Tesis de maestría).

Recuperado de la base de datos Universidad de Guayaquil. (URI: 2573).

47. Cortés, C., (2014). *Propuesta de solución a un problema de humedad presentado en la planta unicaolín de Huayacotola, Veracruz.* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero de Minas y Metalurgista). Recuperado de Repositorio Digital UNAM. (URI: 100/5812).
48. Crespo, C., (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones.* (5ta. Edición). Balderas, México: Limusa.
49. Grassman, P., Sawistowski., (2013). *Principios físicos de Ingeniería Química: Series Internacionales de Monografías en Ingeniería Química.*
50. Cultrone, G., (2001). *Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del Patrimonio Histórico.* (Disertación doctoral). Recuperada de repositorio, digital Universidad de Granada. URI: 10481/24881.
51. Cuvi, P., (1994). *Artesanías del Ecuador.* (1ra. ed.). Quito, Ecuador: DINEDICIONES.
52. Degryse, P., Elsen, J., (2003). *Minerales industriales: Fuentes, Características y aplicaciones.* (1ra. ed.). Lovaina, Bélgica: Universidad de Lovaina Impresora.
53. De la Fuente, G., Kristcautzky, N., Toseli, G., Riveros, A., (2005). Petrología cerámica comparativa y análisis composicional de las pinturas por MEB-EDS de estilo Aguada Portezuelo (ca. 600-900 DC) en el valle de Catamarca (Noroeste Argentino). *Estudios atacameños*, 30, 61-78.
54. De las Heras, S., (2011), *Fluidos bombas e instalaciones hidráulicas.* (1ra.ed.). Barcelona, España: Iniciativa Digital Politécnica.

55. Deleg, N., (2010). Definición de un proceso de producción semi-industrial de ladrillos en la parroquia Susudel. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Química). Recuperado de Repositorio de la Universidad de Cuenca. (Núm: 123456789/2397).
56. de Oliveira, C., Bernardin, A., (2008). Determinación de la plasticidad en arcillas: Método indexado versus método de Pfefferkorn. *Ciencia aplicada de arcillas*, 40, 15-19.
57. Diko, M., Ekosse, G., Ayonghe, S., Ntasin, E., (2011). Caracterización física de materiales cerámicos de rocas volcánicas terciarias en Limbe (Cameroon) para aplicaciones cerámicas. *Ciencias aplicadas de arcillas*, 51, 380-384.
58. Dobre, T., Sánchez, J., (2007). *Ingeniería Química: Modelado, Simulación y Similitud*. Weinheim: Alemania: Wiley-VCH.
59. Domínguez, F., (2014). Propuesta de solución al alto consumo de electricidad de la red nacional en la planta cerámica de Santa Cruz de Norte, Cuba. *Tecnología Química*, 34(2), 124-134.
60. Douglas, B., Ho, S., (2007). *Estructura y Química de Sólidos Cristalinos*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Springer.
61. Dudek, T., Cuadros, J., Fiore, F., (2006). Interestratificada kaolinita-esmectita: Naturaleza de las capas y mecanismo en la kaolinitización de las esmectitas. *Mineralogía Americana*, 91, 159-170.
62. Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., Quintero, J. y Romero, F., (2004). Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá. *Revista Académica Colombia. Ciencia*, 28(109), 555-564.
63. Durán, J., Montoya, J., Silva, A., Peralbo, R., Castro, J., (2014). Validación de nuevos materiales cerámicos a partir de rocas de desecho de minería.

Propiedades mecánicas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 53(6), 279-288.

64. Enrique, J., Monfort, E., Busani, G., Mallol, G., (2000). Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas. *Boletín de la Sociedad española de cerámica y Vidrio*, 39(1), 149-154.
65. Escudero, M., (2014). *Logística de Almacenamiento*. (1ra.ed.). Madrid, España: Paraninfo.
66. Espinosa, N., (2009). *Construcción y puesta en marcha de un horno de ladrillo para combustión de leña para vidriado de artesanías con plomo*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico). Recuperado de repositorio digital Universidad San Francisco de Quito, (URI: 23000/748).
67. Esteve, V., (2006). *El método de Rietveld*. (1ra. ed.). Castellón de la Plana, España: Publicaciones de la Universitat Jaume I.
68. Ferrante, L., (1995). *Separación de Sólidos y Líquidos*. (1ra. ed.). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.
69. Ferrari., B., Moreno, R., Lange, F., (2000). Comportamiento coloidal de un caolín deshidratado. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 39(2), 229-235.
70. Florez, A., (2016). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para fabricación de ladrillos en la ladrillera Mariscal Robledo S.A. (Proyecto previo para la obtención del título de Tecnólogo en Química Industrial). Recuperado de Repositorio Digital UTP (URI: 11059/6338).
71. Flügel, E., (2010). *Microfases de las Rocas Carbonatadas: Analysis, Interpretación y Aplicación*. (2da. ed.). Verlag, Alemania: Springer.

72. Fonseca, D., Barba, F., Callejas, P., Recio, P., (2012). Aplicaciones de los minerales arcillosos de Cayo, Guan, Cuba, como adsorbentes de metales pesados y materia prima cerámica. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51(5), 261-268.
73. Fort, R., Varás, M., Pérez, E., Luque, J., Álvarez, M., Vázquez, C., (2007). Los ladrillos del recinto amurallado de Talamanca de Jarama, Madrid: criterios para su diferenciación. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 46(3), 145-152.
74. Franco, G., (2015). *Estado del arte sobre métodos y técnicas de localización y distribución aplicadas en instalaciones de manufactura y servicios*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial). Recuperado de repositorio digita UAO. (URI 10614/8585).
75. Fuerstenau, M., Han, K., (2003). *Principios del procesamiento de minerales*. (1ra. ed.). Colorado, Estados Unidos: SME.
76. García, C., Bastida, J., Pardo, P., Rodríguez, G., Lacruz, M., Villar, M., Lázaro, A., (2005). Influencia de características microestructurales de caolinita en las propiedades de sus pastas de colaje. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 44(4), 239-244.
77. Garret, D., (2012). *Ingeniería Química Económica*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold.
78. Gavhane, K., (2009). *Operaciones Unitarias, flujo de fluidos y operaciones mecánicas*. (17ma. ed.) Pune, India: Prakashian Nirali.
79. Gerling, H., (2002). *Alrededor de las máquinas-herramienta*. (3ra. ed.). Barcelona, España: Reverté.

80. Ghasem, N., Henda, R., (2014). *Principios de Ingeniería Química Procesos: Balances de Materia y Energía*. (2da. ed.). Florida, Estados Unidos: CRC Press.
81. Gil, I., Guevara, J., García, J., Leguizamón, A., Rodríguez, G., (2015). *Análisis de procesos y simulación en Ingeniería Química*. (1ra. ed.). Cham, Switzerland: Springer.
82. Giles, H., Wagner, J., Mount, E., (2005). *Extrusion: El Proceso Definitivo Guía y Libro*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: William Andrew, Inc.
83. Gimeno, D., Pugés, M., (2015). Caracterización química de la vidriera de Sant Pere i Sant Jaume (segundo cuarto del s. XIV, Monestir de Pedralbes, Barcelona). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 41(2), 224-231.
84. Göl, C., (2006). *Producción de tejas cerámicas usando lodos marinos como aditivos*. (Tesis de maestría). Recuperado de base de datos Izmir Instituto de Tecnología. doi: 10.1.1.427.2425.
85. Gomez, C., dos Reis, J., Luiz, J., de Oliveira, A., Hotza, D., (2005). Defloculación de suspensiones cerámicas triaxiales obtenidas a partir de diseño de mezclas. *Cerámica*, 51, 336-342.
86. Gómez, S., Sierra, M., (2010). *Análisis instrumental: Algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al Espacio Europeo de Educación Superior*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Netbiblo.
87. Gordejuela, F., (2003). *Determinación de la expansión por humedad de los productos cerámicos empleados en elementos estructurales*. (Disertación doctoral). Recuperada de base de datos UPM. (URI: 296).

88. Güetto, J., (2012). *Materias primas para pastas cerámicas: Tecnología de los materiales cerámicos*. (1ra e.d). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
89. Guillén, H., Sempertegui, G., (2011). *Análisis de la factibilidad para la implementación de una fábrica de ladrillos para la construcción*. (Tesis de maestría). Recuperado de Repositorio Digital UPS. (URI: 123456789/1342).
90. Guillén, Bribiesca y Escudero, (2012), Caracterización y Evaluación de un Depósito de Caolín, de "Los Azufres" Michoacán, México, para su uso Industrial, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51 (6), 329-336.
91. Gupta, A., Yan, D., (2006). *Diseño de Procesos Mineralógicos: Una Introducción*. (1ra. ed.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
92. Guzmán, A., (2014). *Síntesis y caracterización de materiales cerámicos compuestos por caolín y alúmina*. (Tesis de maestría en Ciencias Físicas). Recuperado de Repositorio Digital Universidad Nacional de Colombia: URI: 43402.
93. Guzmán, A., Delvasto, S., Sánchez, E., Amigó, V., (2013). Cenizas del tamo de arroz como sustituto del feldespato en la fabricación de la cerámica blanca. *Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52, (1), 25-30.
94. Haldar, S., (2013). *Introducción a la mineralogía y petrología*. (1ra. ed.). Waltman, Estados Unidos: Elsevier.
95. Hammer, F., Hammer., J., (2004). *El diccionario cerámico de materiales y técnicas*. (5ta. ed.). Filadelfia, Estados Unidos: University of Pennsylvania Press.

96. Händle, F., (2009). *Extrusión en Cerámica*. (2da. ed.). Londres, Reino Unido: Springer.
97. Harris, R., Hutchison, P., (2007). *La Amazonía*. (3ra. ed.). Connecticut, Estados Unidos: Legoprint.
98. Heim, H., Potente, H., (2008). *Técnicas Especializadas de Moldeo: Aplicación, Diseño, Materiales y Procesamiento*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Plastics Design Library.
99. Heimann, R., (2010). *Clásicas y avanzadas cerámicas: desde fundamentos y aplicaciones*. (1ra. ed.). Weinheim, Alemania: Wiley-Vch.
100. Hilyard, R., (1999). *Cerámicas europeas*. (1ra. ed.). Hong Kong, China: South Sea International.
101. Himmelblau, D., (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. (6ta. ed.). México, México: Prentice Hall.
102. Hjortso, M., Wolenski, P., (2010). *Modelos Matemáticos Lineales en Ingeniería Química – 458*. (1ra. ed.). Toh Tuck: Singapur: World Scientific Publising.
103. Hussey, R., Wilson, J., (1998). *Técnicas avanzadas cerámicas: directorio y base de datos*. (1ra. ed.). Londres, Reino Unido: Elsevier.
104. Incropera, F., De Witt, D., (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (4ta. ed.). Naucalpan de Juárez, Estado de México: Prentice Hall.
105. Irfan, H., (2011). *Simulación de procesos sólidos con Aspen Plus*. (Tesis de maestría en Química y procesos de Ingeniería). Lapeenranta Universidad de Tecnología. (UMI 10024/74682).
106. Jiménez, A., Rodríguez, A., (2014). *Diseño y construcción de un secador tipo bandejas para biomasa requerido por el Cestta-Epoch*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico).

Recuperado de Repositorio Digital Espoch. (Identificador: UDCTFC;96T00246).

107. Jiménez, L., (2005). *Técnica de la construcción con ladrillo*. (2da. ed.). Barcelona, España: Ediciones Ceac, S.A.
108. Kalpakjian, S., y Schmid, S., (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (4ta. Edición). Naucalpán de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación.
109. Kamalesh, S., (2014). *Separación de Moléculas, Macromoléculas y Partículas: Principios, Fenómenos y Procesos*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.
110. Khormali, F., Rezaei, F., Rahimzadeh, N., Hosseinifard, S., Dordipour, E., (2015). Calentamiento inducido a la Rizósfera de minerals loss-derivados suelos de Golestan Provincia, Iran. *Geoderma Regional*, 5, 34-43
111. King, R., (2012). *Modelado y Simulación de Sistemas para Procesamiento de Minerales*. (1ra. ed.). Oxford, Estados Unidos: Butterworth Heinemann.
112. King, R., (2013). *Mecánica de Fluidos en Mezclado: Modelado, Operaciones y Técnicas Experimentales*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Springer.
113. Klein; C., Philpotts, A., (2012). *Materiales terrestres: introducción a la Mineralogía y Petrología*. (1ra. ed.). Nueva york, Estados Unidos: Cambridge University Press.
114. Kogel, J., (2006). *Minerales industriales y rocas: mercadeo, mercados y usos*. (7ma. ed.). Colorado, Estados Unidos: Sociedad de Minería, Metalurgia, y Exploración, Inc. (SME).

115. Kuzmickas, L., Andrade, F., Szabó, G., Motta, J., Cabral, M., (2013). Influencia de diopside: influencia de feldespatos en reacciones cerámicas blanca analizada por difracción de Rayos X (Método Rietveld). *Cerámica*, 59, 345-350.
116. Larburu, N., (1995). *Máquinas prontuario*. (7ma. ed). Madrid. España: Paraninfo.
117. Lastovicka, J., (2009). *Geofísica y geoquímica-Volumen II*. (1ra. ed.). Praga, Czechoslovakia: EOLSS Publishers, Co. Ltd.
118. Lázaro, C., Ramón, V., Gómez, F., Allepuz, S., Fraga, D., Carda, J., (2012). Incorporación de residuos derivados de la fabricación cerámica y del vidrio reciclado en el proceso cerámico integral. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 5(2), 139-144.
119. Lenoe, E., Katz, R., Burke, J., (2013). *Cerámicas para Alto Desarrollo Aplicaciones: Confiabilidad*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Springer.
120. Lindeburg, M., (2013). *Ingeniería Química Manual de Referencia para el Examen PE*. (7ma. ed.). California, Estados Unidos: Publicaciones Profesionales, Inc.
121. López, A., Nicolás, G., Mateo, M., Piñón, V., Ramil, A., Yáñez, A., (2005). Análisis de cerámicas romanas Terra Sigillata mediante espectroscopía de plasmas inducidos por láser (LIPS). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 44(1), 373-378.
122. Macadán, F., (2010). *Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una planta ecológica procesadora de papel reciclado en la zona norte del estado Anzoátegui*. (Proyecto de titulación previo a obtener el título de Ingeniero Químico). Recuperado de la base de datos METADATUM. URI 2812.

123. Mahumder, V., (2013). *Estudio del tiempo de movimiento en una empacadora Flowpack*. (Tesis de maestría). Recuperado de la base de datos Politécnico de Milano. (URI: 10589/78474).
124. Mallol, J., (2005). *Densificación y flujo de lechos de partículas de cuarzo*. (Disertación doctoral). Recuperado de Repositorio Digital Universitat Jaume I. (URI: 10803/103911).
125. Mari, E., (2001). *Los materiales cerámicos: Aplicaciones estructurales, funcionales y artísticas*. (1ra edición). Buenos Aires, Argentina: Alsina.
126. Marosvölgyi, K., (2009). *Alteración retrógrada en Rocas Basálticas en materiales de geotermales Altas Temperaturas Iceland*. (Tesis de maestría). Recuperado de Repositorio Digital RES. (URI: 1946/6996).
127. Martín, J., Sanfeliu, T., Gómez, D., (2005). *Mineralogía de arcillas cerámicas: el permo-trías de Castelló*. (4ta ed.). Castellón, España: Títol V. Série.
128. Martín, J., Sanfeliu, T., Gómez, D., De la Fuente, C., Jordán, M., (2006). Caracterización litológica y mineralógica de los materiales permo-triásicos de Castellón utilizados como materia prima cerámica: la arcilla de Moró. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 45(4), 239-244.
129. Martínez, J., Narros, A., de la Fuente, Ma., Pozas, F., Díaz, V., (2006). *Experimentación en Química General*. (1ra. ed.). Madrid, España: Paranifo.
130. Martínez, V., (2000). *Simulación de procesos en Ingeniería Química*. (1ra. ed.). Mexico, Mexico: Plaza y Valdés, S.A.
131. McColm, I., (2013). *Diccionario de Cerámica Ciencia e Ingeniería*. (2da. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Springer.

132. Meriam, J., Kraige, L., (2000). *Mecánica para ingenieros: dinámica*. (3ra. ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté.
133. Mezaki, R., Mochizuki, M., Ogawa, K., (2000). *Datos de Ingeniería en el Mezclado*. (1ra. ed.). Amsterdam, Países bajos: Elsevier.
134. Mihaiu, S., Toader, A., Atkinson, I., Mocioiu, O., Hornoiu, C., Teodorescu, V., Zaharescu, M., (2015). Cerámicas avanzadas en el sistema binario SnO₂-ZnO. *Cerámica internacional*, 41, 4936-4945.
135. Molera, J., Pradell, T., Vendrell, M., (1998). Los colores en cerámicas ricas de Ca: origen y caracterización. *Ciencia aplicada de arcillas*, (13), 187-202.
136. Moncayo, D. y Torres, H., (2007). *Plan de mantenimiento para el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la EPN*. (Proyecto previo para la obtención del título de Tecnólogo en Mantenimiento Industrial). Recuperado de Repositorio Digital EPN (Núm. 15000/1984).
137. Monrós, G., Badenes, J., García, A., y Tena, M., (2003). *El color de la cerámica: nuevos mecanismos en pigmentos para los nuevos procesados de la industria cerámica*. (1ra. ed.). Castellón de la Plana, España: Universitat Jaume I.
138. Moraes, D., Angélica, R., Costa, C., Rocha, G., Zamian, J., (2010). Mineralogía y química de una nueva bentonita al este de la Región Amazónica, norte de Brasil. *Ciencia aplicada de arcillas*. 48, 475-480.
139. Morales, J., (2005). *Tecnología de los materiales cerámicos*. (1ra. Edición). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
140. Moreno, S., Peña, J., (1992). *Historia de la cerámica en el Ecuador*. (1ra.ed.). Cuenca, Ecuador: Fundación Paul Rivet.

141. Muñoz, R., Muñoz, J., Mancilla, P., Rodríguez, J., (2007). Caracterización físicoquímica de arcillas del municipio de Guapi-Costa pacífica Caucana (Colombia). *Revista académica colombiana Ciencias*, XXXI, (121), 537-544.
142. Mukherjee, S., (2013). *La ciencia de las arcillas: aplicaciones en la industria ingeniería y medioambiente*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Elsevier.
143. Müller, I., Müller, I., (2009). *Fundamentos de Termodinámica y Aplicaciones: Con anotaciones Históricas y muchas citas desde Avogadro hasta Zermelo*. (1ra. ed.). Berlin, Alemania: Springer.
144. Murray, H., (2006). *Applied Clay Mineralogy: Ocurrences, Procesing and Apllication of Kaolins, Bentonites, Paligorskite-Sepiolite, and Common Clays*. (1ra. ed.). Amsterdam, Países Bajos: Elsevier.
145. Nelson, B., (2015). Mineralogía de arcillas en los sedimentos, río Rappahanok, Virginia. *Séptima conferencia nacional de arcillas y minerales de arcillas*, (10), 135-147.
146. Nemcok, M, Mora, A., Cosgrove, J., (2013). *Thick-Skin-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion*. (1ra. ed.). Londres, Reino Unido: La Sociedad Geológica.
147. Nienow, A., Edwards, M., Harnby, N., (1997). *Mezclado en los Procesos Industriales*. (2da. ed.). Londres, Reino Unido: Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
148. Opait, A., (2004). *Cerámicas locales e importadas en la provincia Romana de Scythia (4to-6th centenarios AD): aspectos de la vida económica en la provincia de Schythia*. (1ra.ed.). Oxford, Inglaterra: Archaeopress.
149. Paine, F., (2012). *La Empacadora Manual de Usuario*. (1ra. ed.). Ontario, Canadá: Champan & Hall.

150. Paladines, A. y Soto, J., (2005). *Los recursos no renovables del Ecuador: base para la planificación y ordenamiento*. (1ra. ed.). Quito, Ecuador: Editorial Universitaria.
151. Paladines, A. y Soto, J. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. (1ra. ed.). Loja, Ecuador: Universidad Particular de Loja.
152. Papadopoulou, D., Zachariadis, G., Anthemidis, A., Tisirliganis, N., Stratis, J., (2006). Desarrollo y optimización de un método portable micro XRF para in situ multi-elementos análisis de cerámicas antiguas. *Ciencia directa*, 68, 1692-1699.
153. Paul, E., Atiemo, V. y Kresta, S., (2015). *Manual de mezcla industrial*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Wiley Interscience.
154. Peres, W., Stumpo, G., (2002). *Pequeñas y medianas empresas industriales en américa latina y el caribe*. (1ra. ed.). Mexico, Mexico: Siglo XXI editores, s.a. de c.v.
155. Petelinsek, K., (2014). *Creaciones en Pastas de Moldeo*. (1ra. ed.). Michigan, Estados Unidos: Cherry Lake Publishing.
156. Peterson, S., Peterson, J., (2003). *El Craft y el Arte de la Arcilla*. (4ta. ed.). Londres, Reino Unido: Laurence King Publishing.
157. Petley, G., (1997). *Un método para estimar el Coste de Capital en Plantas Químicas*. (Disertación doctoral). Recuperado de Base de datos Loughborough. (URI: 2134/11165).
158. Poirier, T., Baena, J., Picardo, C., Hung, X., (2014). Relevancia del factor “materia prima” en un proceso cerámico industrial: un caso de estudio venezolano. *Revista de la facultad de ingeniería 03/2014*, 29(3), 1-12.

159. Pohorecki, R., Bridgwater, J., Molzahn, M., Gani, R., Gallegos, C., (2010). *Ingeniería Química y Tecnología Química de procesos: Volumen VII: Reología-Parte II*. (1ra. ed.). Londres, Reino Unido: Eols Publishers Co, Ltd.
160. Price, G., Ross, N., (2007). *La estabilidad de Minerales*. (2da. ed.). Dordrecht; Irlanda: Kluwer Academic Publishers.
161. Primo, E., (1995). *Química orgánica básica y aplicada De la molécula a la Industria*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté.
162. Pryor, M., (2012). *Procesamiento mineral*. (3ra. ed.). Londres, Reino Unido: Elsevier.
163. Quijorna, N., San Miguel, G., Andrés, A., (2009). *Efecto de la fundición de desechos en las propiedades técnicas de ladrillos cerámicos*. Primera conferencia nacional en avances de materiales de reciclado y Eco-Energía. 164-167
164. Rahaman, M., (2006). *Proceso Cerámico*. (1ra. ed.). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.
165. Ramos, E., Guzmán, J., Sandoval, M., Gallaga, Y., (2001). Caracterización de arcillas del estado de Guanajuato y su potencial aplicación en cerámica. *Acta Universitaria*, 12(1), 25-30.
166. Ravemark, D., Rippin, D., (2012). *Procesamiento Batch en sistemas de Ingeniería: Fundamentos y Aplicaciones para Ingeniería Química*. (1ra. ed.). Antalya, Turquía: Elsevier.
167. Reinoso, C., Vega, E., (2013). *Análisis y Evaluación de una Propuesta para Automatizar una Línea de Re-Envase de una Empresa Productora de Aditivos para la Construcción*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial). Recuperado de Repositorio Digital ESPOL. (URI: 89559/798666).

168. Roach, M., (2008). *Tunneling Norte América 2008 Procedimientos*. (1ra. ed.). Colorado, Estados Unidos: SME Inc.
169. Rodríguez, P., Valero, A. y Maqueda, C., (1996). Presencia de caolinita en la sierra de Huelva. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 35(1), 29-33.
170. Rodríguez, S., (2007). *Diseño de un modelo de mantenimiento para el triturador de cono de CVG Venalum*. (Tesis de maestría para obtención del título de especialista en Diseño y Mantenimiento Industrial). Recuperado de Repositorio Digital Universidad Simón Bolívar. (URI: 000137493).
171. Rodríguez, C., (2016). *Reutilización de residuos industriales del proceso de fabricación de sanitarios, como materia prima para la producción de ladrillos de la Planta de Edesa Quito*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
172. Rojas, O., Villabona, C., (2007). *Elaboración plan de manejo ambiental en la ladrillera Bautista Cáceres LTDA*. (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental). Recuperado de Repositorio Digital Universidad Industrial de Santander. URI: 123456789/7610.
173. Rolle, K., (2006). *Termodinámica*. (6ta.ed.). Mexico, Mexico: Prentice Hall.
174. Rolle, K., (2015). *Transferencia de calor y masa*. (2da. ed.). Boston, Estados Unidos: Cengage Learning.
175. Rusina, O., Kirmeier, R., Molinero, A., Rambo, C., Sieber, H., (2012). Manufactura de SIC-Cerámicas Alta-Porosidad a partir de Si-Filled Fibras Celulosas de Papel. *Procesos Innovadores y Síntesis de Cerámicas, Vidrios y Compuestos*. 8, 171-175.
176. Sacoto, J., (2013). *Diseño para el proyecto para la implementación de una fábrica productora de ladrillo en la ciudad de Azogues*. (Proyecto de

titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial). Recuperado de Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana. URI: 123456789/5700.

177. Salazar, P., (2015). *Fabricación de ladrillos cerámicos utilizando como aditivos rotura y lodos de la planta de tratamiento de agua de la empresa EDESA S.A.* (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico). Recuperado de Repositorio Digital UCE (Núm. 25000/4514).
178. Samaniego, M., Estrada, E., (2012). *Diseño y construcción de un equipo mixto de molienda y tamizado para materiales minerales.* (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera (o) Química (o)). Recuperado de Repositorio Digital Espoch. (URI: 123456789/1973).
179. Sánchez, F., (2007). *Estudio y diseño de una planta de producción de membranas cerámicas de coste reducido.* (Tesis de maestría). Recuperado de Repositorio Digital UPC. (URI: 209.1/4333).
180. Sánchez, W., Guaño, V., (2012). *Redistribución de la planta de producción de la empresa Celtel, para la fabricación de ladrillo vistoso.* (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial). Recuperado de Repositorio Digital Espoch. (URI: 123456789/2420).
181. Santos, J., Malagón, P., Córdoba, E., (2009). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. *DYNA*, (167), 50-58.
182. Sbárbaro, D., Del Villar, R., (2010). *Control Avanzado y Supervisión en Plantas para Procesamiento de Minerales.* (1ra. ed.). Londres, Reino Unido: Springer.
183. Seyed, M., Seyed, A., (2013). *Analysis of the mixing of Solid Particles in the Slant Cone and Ploughshare Mixers via Discrete Element Method*

- (DEM). (Tesis de maestría). Recuperado de la base de datos RULA. (UMI 2707).
184. Shames, I., (1995). *Mecánica de Fluidos*. (3ra. ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
185. Shanmugam, G., (2000). *Ingeniería mecánica básica*. (3ra. ed). Nueva Delhi, India: McGraw-Hill.
186. Sharpe, A., (1996). *Química inorgánica*. (1ra. ed.) Barcelona, España: Reverté.
187. Schumann, W., (2009). *Piedras preciosas del mundo*. (4ta. ed.). Miskawa, Estados Unidos: Sterling Publishing Co.
188. Smothers, W., (2009). Procedimientos del 41ro Foro Técnico del Instituto de Porcelana y Esmaltado (pp. 105-227). Ohio, Estados Unidos: La Sociedad Americana de Cerámica.
189. Silla, H., (2003). *Procesos químicos en ingeniería: diseño y economía*. (1ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Marcel, Dekker, INC.
190. Silveira, J., Leite, J., Pessoa, J., (2010). Técnica para optimización de cuerpos cerámicos usando diseño de mezclas. *Cerámica*, 56(340), 347-354.
191. Singer, F., (2013). *Cerámica Industrial*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Springer.
192. Sinnott, R., (2014). *Diseño en Ingeniería Química*. (2da. ed.). Oxford, Gran Bretaña: BPC Wheatons Ltd, Exeter.
193. Sjoman, L., (1992). *Vasijas de barro: la cerámica popular en el Ecuador*. (1ra. ed.). Quito, Ecuador: CIDAP.

194. Soroka, W., (2008). *Glosario ilustrado de la tecnología del empaçado*. (2da. ed.). Illinois, Estados Unidos: Instituto de empaçadores profesionales.
195. Srivastava, A., (2009). *Aproximaciones Instrumentales al Análisis Químico*. (4ta. ed.). Nueva Delhi, India: S. Chand & Company LTD.
196. Stober, I., Bucher, K., (2013). *Hidrogeología de Rocas Cristalinas*. (1ra. ed.). Dordrecht, Irlanda: Elsevier.
197. Stucki, J., Banwart, W., (2012). *Métodos químicos avanzados para suelos y minerales arcillosos*. (1ra. ed.). Dordrecht, Holanda: Reidel.
198. Subba, D., (2011). *Beneficio de minerales: Un curso básico conciso*. (1ra. ed.). Londres, Reino Unido: CRC Press.
199. Surendranathan, A., (2015). *Una introducción a Cerámicos y Refractarios*. (1ra. ed.). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.
200. Sutcu, M., Akkurt, S., (2010). Utilización de papel reciclado para procesamiento de residuos y arcilla de diferentes fuentes para producción de cerámicas porosas anortita. *Revista de la Sociedad Europea de Cerámica*, 30, 1785-1793.
201. Teixeira, S., de Souza, S., Nobre, M., (2004). Propiedades físicas y mecánicas de cerámicas conformadas con arcillas del oeste del estado de San Pablo, Brasil. *Cerámica*, (50), 268-273.
202. Terpstra, R., Pex, P., Vries, A., (2012). *Procesamiento cerámico*. (2da. ed.). Londres, Reino Unido: Edmunsbury Press.
203. Thomsen, C., Guitart, L., (2007). *Dirección de la producción: casos y aplicaciones*. (1ra. ed.). Barcelona, España: UB.
204. Tirado, I., (1994). Estudio de optimización de una planta de fabricación de ladrillos prensados y perforados. (Proyecto de titulación previo a la

Obtención del título de Ingeniera Química no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

205. Tonchia, S., (2008). *Manejo de Proyectos Industriales: Planificación, Diseño, y Construcción*, (1ra. ed.). Berlín, Alemania: Springer.
206. Toretti, I., Bergmann, E., Benincá, A., Zomer, K., Cargnin, M., (2012). Estudio de la determinación de plasticidad en materias primas cerámicas utilizando el método de Pfefferkorn. *Revista técnico científica*, 3(1), 226-233.
207. Turner, A., (2004). *Técnicas para producir cerámicas: Un manual ilustrado de cerámica*. (1ra. ed.). Ohio, Estados Unidos: Sociedad Americana de Cerámica.
208. Turrado, J., Saucedo, A., Ramos, J., Reynoso, M., (2008). Comportamiento de la Fibra de Celulosa Reciclada en el Proceso de Hidratación. *Información tecnológica*, 19(5), 129-136.
209. Vaikuntam, I., Raja, R., y Ramachandran, (2015). *Procesos innovadores Para el Desarrollo de la Industria Metalúrgica*. (1ra. ed.). New York, Estados Unidos; Springer.
210. Valderrama, K., (2004). *Planificación de la estrategia operativa para la producción de cerámica de Chulucanas*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura, Piura, Perú.
211. Vallhonrat., J., Corominas, A., (1991). *Localización, distribución en planta y mantenimiento*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Marcombo.
212. Vásquez, M., Jiménez, J., Sánchez, C., Parras, J., (2003). Composición y propiedades cerámicas de las pizarras de la Zona Centro Ibérica del Macizo Ibérico Meridional (Norte de Jaén, España). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 42(4), 215-221.

213. Vásquez, E., (2005). *Materiales Cerámicos. Propiedades, Aplicaciones y Elaboración*. (1ra. ed.). México, México: UNAM.
214. Vaughn, R. (2010). *Introducción a la ingeniería industrial*. (1ra. Edición). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
215. Verma, N., Khanna, S., Kapila, B., (2010). *Química, Comprehensiva XI*. (1ra. ed.). Nueva Delhi, India: Laxmi Publications.
216. Vian, A., (2006). *Introducción a la química Industrial*. (2 da. Ed.) Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.
217. Villora, J., Callejas, P., Barba, M., (2004). Influencia del procesamiento de materiales cerámicos en su comportamiento como adsorbente de iones en aguas industriales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 43(1), 75-79.
218. Vitorino, N., Freitas, C., Ribeiro, M., Abrantes, J., Frade, J., (2014). Extrusión de emulsiones cerámicas: comportamiento plástico. *Ciencia aplicada de arcillas*, (101), 315-319.
219. von Humboldt, A., (2013). *Views of the Cordilleras and Monuments of the Indigenous Peoples of the Americas*. (1ra. ed.). Chicago, Estados Unidos: La Universidad de Chicago.
220. Wills, B., Munn, T., (2015). *Tecnología de procesamiento de minerales de Will: Una introducción a los aspectos prácticos del tratamiento y recuperación mineral*. (8va. ed.). Boston, Estados Unidos: Elsevier.
221. Woods, D., (2007). *Reglas Generales en la Práctica de Ingeniería*. (1ra. ed.). Weinheim, Alemania: Wiley-VCH.
222. Worrel, W., Veslind, P., (2011). *Ingeniería de desechos sólidos, SI Versión*. (2da. ed.). Stamford, Estados Unidos: Cengage Learning.

223. Young, C., Taylor, P., Anderson, C., Choi, Y., (2008). *Hidrometalurgia 2008: Procedimientos del Sexto Simposio Internacional*. (1ra.ed.). Colorado, Estados Unidos: SME.
224. Zenil, A., (2011). *Potencial de reciclaje de envases multicapas de las estaciones de transferencia Coyoacán y Xochimilco del Distrito Federal*. (Tesis de maestría para licenciatura en Ingeniería Ambiental-Residuos Sólidos). Recuperado de Repositorio Digital Facultad de Ingeniería UNAM. URI: 100/4485.

ANEXOS

ANEXO I
PROPIEDADES FÍSICAS EN PASTAS DE MOLDEO Y MATERIAS PRIMAS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 1

Tabla AI.1. Densidad Real Pasta Jovi Blanca

Densidad Real Pasta Jovi Blanca					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,44	24,51	49,00	48,38	2,38
2	23,44	24,55	49,05	48,38	2,52
3	23,25	24,33	48,88	48,29	2,20
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,36 ± 0,13

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 2

Tabla AI.2. Densidad Real Pasta Jovi Terracota

Densidad Real Pasta Jovi Terracota					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,21	48,86	48,29	2,46
2	23,25	24,36	48,93	48,28	2,41
3	23,25	24,01	48,75	48,29	2,53
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,47 ± 0,05

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 3

Tabla AI.3. Densidad Real Arcilla Roja Sigchos

Densidad Real (Dr) Arcilla Roja Sigchos					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,27	48,90	48,29	2,49
2	23,25	24,36	48,94	48,29	2,41
3	23,25	24,01	48,75	48,29	2,53
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,48 ± 0,05

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 4

Tabla AI.4. Densidad Real Mineral Arcilloso “La Victoria”

Densidad Real (Dr) Mineral arcilloso “La Victoria”					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,21	48,80	48,29	2,13
2	23,25	24,36	48,89	48,29	2,18
3	23,25	24,01	48,70	48,29	2,17
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,16 ± 0,02

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 5

Tabla AI.5. Densidad Real Caolín Puyo

Densidad Real Caolín Puyo					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,25	48,84	48,29	2,22
2	23,25	24,36	48,90	48,29	2,22
3	23,25	24,25	48,84	48,29	2,22
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,22 ± 0,00

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 6

Tabla AI.6. Densidad Real Arcilla Verde Puyo

Densidad Real Arcilla Verde Puyo					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,24	48,87	48,29	2,41
2	23,25	24,36	48,94	48,29	2,41
3	23,25	24,02	48,74	48,29	2,41
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,41 ± 0,00

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Tabla AI.7. Densidad Real Arcilla Verde Puyo

Densidad Real (Dr) Arcilla Gris Puyo					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,25	24,22	48,89	48,29	2,62
2	23,25	24,36	48,98	48,29	2,64
3	23,25	24,01	48,76	48,29	2,62
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,63 ± 0,01

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 8

Tabla AI.8. Densidad Aparente Pasta Jovi Blanca

Densidad Aparente (Da) Pasta Jovi Blanca					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,59	38,16	10,57	20,00	0,53
2	27,80	37,76	9,96		0,50
3	27,80	37,99	10,19		0,51
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,51 ± 0,01

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 9

Tabla AI.9. Densidad Aparente Pasta Jovi Terracota

Densidad Aparente (Da) Pasta Jovi Terracota					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	39,45	11,85	20,00	0,59
2	27,82	38,54	10,72		0,54
3	27,80	38,47	10,67		0,53
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,55 ± 0,03

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 10

Tabla AI.10. Densidad Aparente Arcilla Roja Sigchos

Densidad Aparente (Da) Arcilla Roja Sigchos					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	50,80	23,20	20,00	1,16
2	27,60	50,80	23,20		1,16
3	27,60	50,80	23,20		1,16
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					1,16 ± 0,00

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 11

Tabla AI.11. Densidad Aparente Mineral arcilloso “La Victoria”

Densidad Aparente (Da) Mineral arcilloso “La Victoria”					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	46,40	18,80	20,00	0,94
2	27,60	46,40	18,80		0,94
3	27,60	46,40	18,80		0,94
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,94 ± 0,00

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 12

Tabla AI.12. Densidad Aparente Caolín Puyo

Densidad Aparente (Da) Caolín Puyo					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	42,20	14,60	20,00	0,73
2	27,60	42,20	14,60		0,73
3	27,60	42,20	14,60		0,73
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,73 ± 0,00

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 13

Tabla AI.13. Densidad Aparente Arcilla Verde Puyo

Densidad Aparente (Da) Arcilla Verde Puyo					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	45,40	17,80	20,00	0,89
2	27,60	45,40	17,80		0,89
3	27,60	45,40	17,80		0,89
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,89 ± 0,00

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 14

Tabla AI.14. Densidad Aparente Arcilla Gris Puyo

Densidad Aparente (Da) Arcilla Gris Puyo					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	27,60	52,40	24,80	20,00	1,24
2	27,60	52,40	24,80		1,24
3	27,60	52,40	24,80		1,24
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					1,24 ± 0,00

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 15

Tabla AI.15. Densidad Real Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca

Densidad Real (Dr) Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,44	24,59	49,07	48,39	2,45
2	23,44	24,49	48,99	48,39	2,33
3	23,44	24,50	48,99	48,39	2,30
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,36 ± 0,06

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 16

Tabla AI.16. Densidad Real Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota

Densidad Real (Dr) Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	23,44	24,54	48,94	48,39	2,00
2	23,44	24,54	48,94	48,39	2,00
3	23,44	24,57	48,96	48,39	2,02
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					2,01 ± 0,12

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 17

Tabla AI.17. Densidad Real Pasta de Moldeo Blanca

Densidad Real (Dr) Pasta de Moldeo Blanca					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	16,10	17,21	42,41	41,73	2,58
2	16,10	17,24	42,42	41,73	2,53
3	16,10	17,26	42,41	41,73	2,42
Resultado: Media (\bar{X}) ± Desviación estándar σ					2,51 ± 0,07

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 18

Tabla AI.18. Densidad Real Pasta de Moldeo Terracota

Densidad Real (Dr) Pasta de Moldeo Terracota					
N° de Prueba	W_a (g)	W_s (g)	W_{sw} (g)	W_w (g)	Dr (g.mL⁻¹)
1	16,10	17,40	42,49	41,73	2,41
2	16,10	17,27	42,42	41,73	2,44
3	16,10	17,24	42,42	41,73	2,53
Resultado: Media (\bar{X}) ± Desviación estándar σ					2,46 ± 0,05

W_a = Masa del picnómetro vacío (g)

W_s = Masa del picnómetro con la muestra (g)

W_{sw} = Masa del picnómetro con muestra y agua (g)

W_w = Masa del picnómetro con agua (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 19

Tabla AI.19. Densidad Aparente Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca

Densidad Aparente (Da) Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	58,39	65,31	6,92	20,00	0,35
2	58,41	65,31	6,90		0,35
3	58,40	64,83	6,43		0,32
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,34 ± 0,01

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 20

Tabla AI.20. Densidad Aparente (Da) Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota

Densidad Aparente (Da) Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota					
N° de Prueba	W_{pr} (g)	W_{pr+m} (g)	W_{pr}-W_{pr+m} (g)	Volumen [ml]	Da (g.mL⁻¹)
1	58,39	66,59	8,20	20,00	0,41
2	58,39	66,82	8,43		0,42
3	58,39	66,85	8,46		0,42
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,42 ± 0,01

W_{pr} = Masa de la probeta vacía (g)

W_{pr+m} = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 21

Tabla AI.21. Densidad Aparente Pasta de Moldeo Blanca

Densidad Aparente (Da) Pasta de Moldeo Blanca					
N° de Prueba	Peso Probeta (g)	Peso Probeta con muestra (g)	Peso muestra (g)	Volumen [ml]	Densidad Aparente (g.mL⁻¹)
1	58,37	71,32	12,95	20,00	0,65
2	58,37	69,92	11,55		0,58
3	58,37	70,28	11,91		0,60
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,61 ± 0,03

Wpr = Masa de la probeta vacía (g)

Wpr+m = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 22

Tabla AI.22. Densidad Aparente Pasta de Moldeo Terracota

Densidad Aparente (Da) Pasta de Moldeo Terracota					
N° de Prueba	Peso Probeta (g)	Peso Probeta con muestra (g)	Peso muestra (g)	Volumen [mL]	Densidad Aparente (g.mL⁻¹)
1	58,37	71,45	13,08	20,00	0,65
2	58,37	72,74	14,37		0,72
3	58,39	73,36	14,97		0,75
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ					0,71 ± 0,04

Wpr = Masa de la probeta vacía (g)

Wpr+m = Masa de la probeta con la muestra (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 23

Tabla AI.23. Granulometría Pasta Jovi Blanca

Granulometría Pasta Jovi Blanca					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 153,00 (g)			Peso de la muestra: 10,81 (g)		
Peso final: 10,81 (g)			Tiempo: ---		
Porcentaje de pérdida: 0,00 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía húmeda		
Porcentaje de finos: 92,93 %			Número de tamices: 15		
Malla #	Abertura del Tamiz (µm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasado acumulado
16	1180	0,01	0,09	0,09	99,91
18	1000	0,02	0,19	0,28	99,72
20	850	0,06	0,56	0,83	99,17
25	710	0,63	5,83	6,66	93,34
30	600	0,51	4,72	11,38	88,62
40	425	2,83	26,18	37,56	62,44
60	250	2,36	21,83	59,39	40,61
80	180	0,74	6,85	66,23	33,77
100	150	0,85	7,86	74,10	25,90
150	100	1,02	9,44	83,53	16,47
180	80	0,25	2,31	85,85	14,15
200	75	0,34	3,15	88,99	11,01
270	53	0,56	5,18	94,17	5,83
325	45	0,34	3,15	97,32	2,68
400	38	0,29	2,68	100,00	0,00
Fondo	<38	0,00	0,00	100,00	0,00
Σ		10,81	100,00		

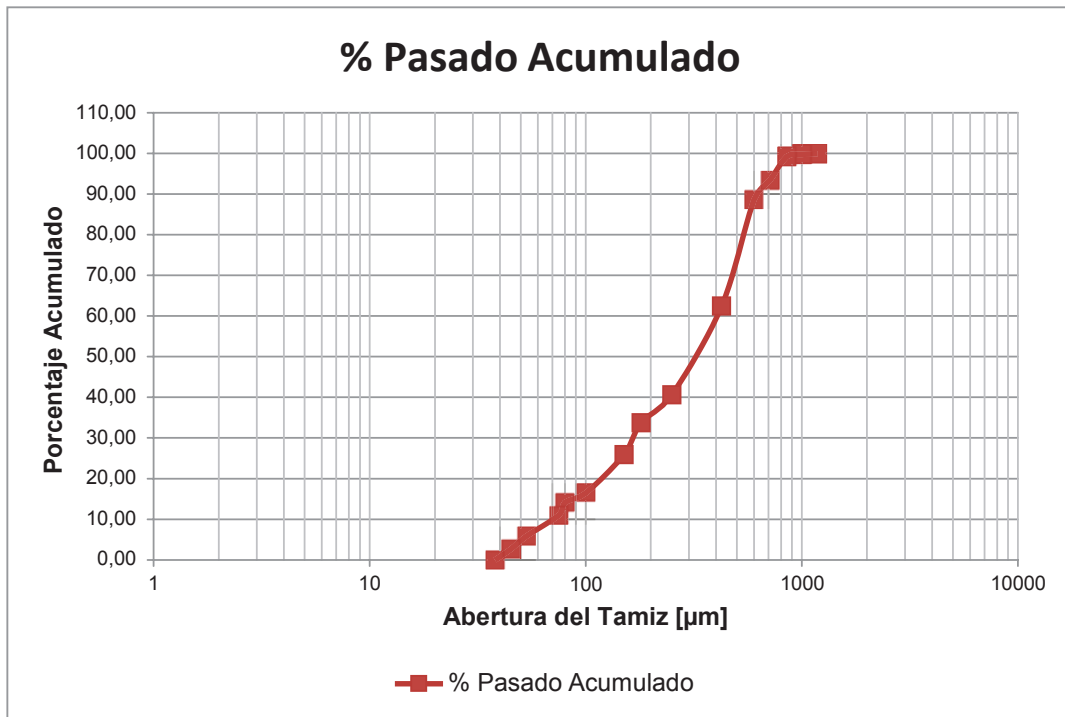


Figura AI.1. Porcentaje pasado acumulado vs Abertura del tamiz muestra Pasta Jovi Blanca

Tabla AI.24. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Pasta Jovi Blanca

$d_{80} \mu\text{m}$	$d_{60} (\mu\text{m})$	$d_{30} (\mu\text{m})$	$d_{10} (\mu\text{m})$	Cu	Cc
543	406	166	71	5,72	0,96

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 24

Tabla AI.25. Granulometría Pasta Jovi Terracota

Granulometría Pasta Jovi Terracota					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 153,00 (g)			Peso de la muestra: 7,77 (g)		
Peso final: 7,77 (g)			Tiempo: ---		
Porcentaje de pérdida: 0,00 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía húmeda		
Porcentaje de finos: 94,92 %			Número de tamices: 12		
Malla #	Abertura (µm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasado acumulado
20	850	0,03	0,39	0,39	99,61
30	600	1,76	22,65	23,04	76,96
40	425	1,69	21,75	44,79	55,21
60	250	1,41	18,15	62,93	37,07
80	180	0,55	7,08	70,01	29,99
100	150	0,49	6,31	76,32	23,68
150	100	0,25	3,22	79,54	20,46
180	80	0,28	3,60	83,14	16,86
200	75	0,11	1,42	84,56	15,44
270	53	0,65	8,37	92,92	7,08
325	45	0,33	4,25	97,17	2,83
400	38	0,22	2,83	100,00	0,00
Fondo	<38	0,00	0,00	100,00	0,00
Σ		7,77	100,00		

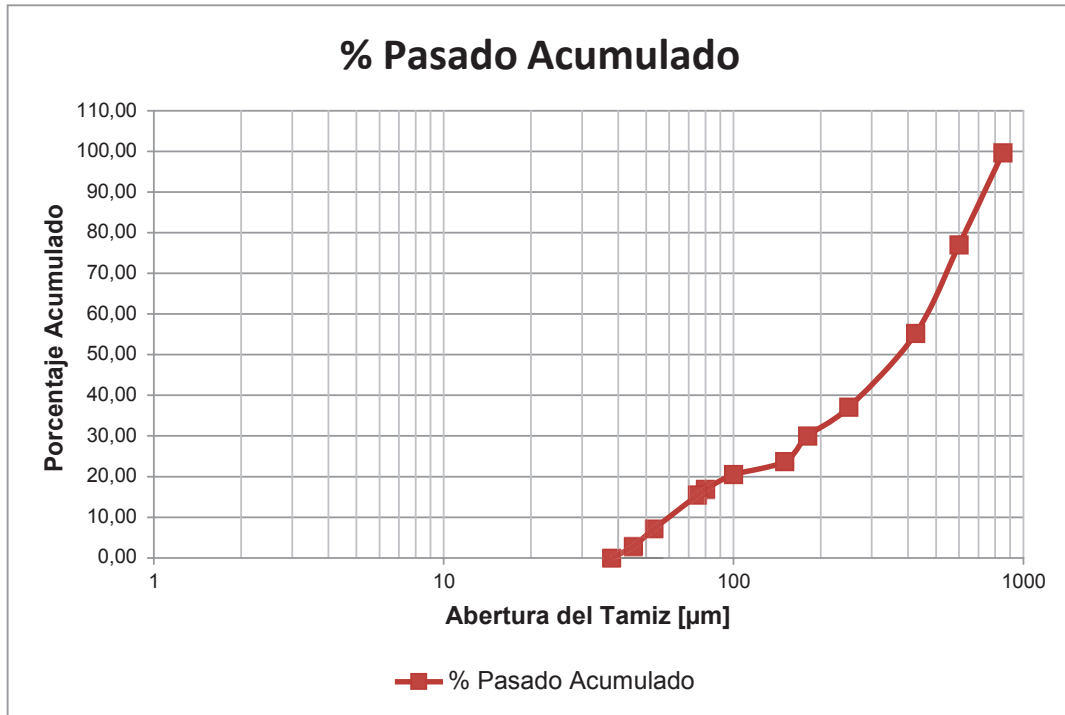


Figura AI.2. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Pasta Jovi Terracota

Tabla AI.26. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Pasta Jovi Terracota

d₈₀ (μm)	d₆₀ (μm)	d₃₀ (μm)	d₁₀ (μm)	Cu	Cc
634	464	181	61	7,61	1,16

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 25

Tabla AI.27. Granulometría Caolín Puyo

Granulometría Caolín Puyo					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 300,20 (g)			Peso de la muestra: 213,10 (g)		
Peso final: 213,10 (g)			Tiempo: 15 minutos		
Porcentaje de pérdida: 0,94 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía seca		
Porcentaje de finos: 31,01 %			Número de tamices: 19		
Malla #	Abertura Del Tamiz (µm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
16	1180	11,80	5,58	5,58	94,42
18	1000	9,50	4,50	10,08	89,92
20	850	6,40	3,03	13,11	86,89
25	710	7,40	3,50	16,61	83,39
30	600	13,70	6,48	23,10	76,90
35	500	17,20	8,14	31,24	68,76
45	355	19,40	9,18	40,42	59,58
50	300	13,80	6,53	46,95	53,05
60	250	10,70	5,06	52,01	47,99
70	212	12,70	6,01	58,02	41,98
80	180	6,00	2,84	60,86	39,14
100	150	16,60	7,86	68,72	31,28
140	106	14,20	6,72	75,44	24,56
150	100	2,40	1,14	76,57	23,43
180	80	6,90	3,27	79,84	20,16
200	75	9,30	4,40	84,24	15,76
270	53	18,50	8,76	93,00	7,00
325	45	5,10	2,41	95,41	4,59
400	38	3,70	1,75	97,16	2,84
Fondo	< 38	6,00	2,84	100,00	0,00
Σ		211,30	100,00		

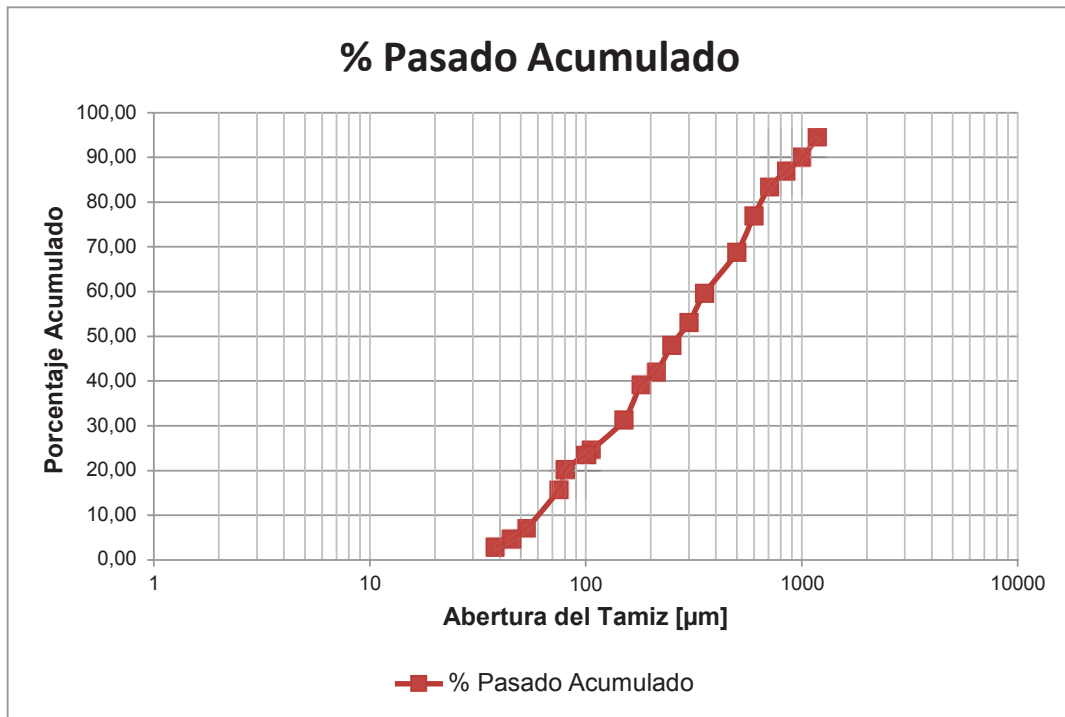


Figura AI.3. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Caolín Puyo

Tabla AI.28. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Caolín Puyo

d_{80} (μm)	d_{60} (μm)	d_{30} (μm)	d_{10} (μm)	Cu	Cc
653	362	142	61	5,93	0,91

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 26

Tabla AI.29. Granulometría Arcilla Verde Puyo

Granulometría Arcilla Verde Puyo					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 300,00 (g)			Peso de la muestra: 185,00 (g)		
Peso final: 185,00 (g)			Tiempo: 15 minutos		
Porcentaje de pérdida: 0,54 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía seca		
Porcentaje de finos: 49,83 %			Número de tamices: 18		
Malla #	Abertura Del Tamiz (µm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
16	1180	13,70	7,45	7,45	92,55
18	1000	9,00	4,89	12,34	87,66
20	850	5,30	2,88	15,22	84,78
25	710	5,50	2,99	18,21	81,79
30	600	11,40	6,20	24,40	75,60
35	500	11,50	6,25	30,65	69,35
45	355	8,80	4,78	35,43	64,57
50	300	8,50	4,62	40,05	59,95
60	250	5,60	3,04	43,10	56,90
70	212	6,70	3,64	46,74	53,26
80	180	3,50	1,90	48,64	51,36
100	150	8,10	4,40	53,04	46,96
140	106	6,60	3,59	56,63	43,37
150	100	2,30	1,25	57,88	42,12
200	75	9,80	5,33	63,21	36,79
270	53	15,30	8,32	71,52	28,48
325	45	9,70	5,27	76,79	23,21
400	38	8,20	4,46	81,25	18,75
Fondo	< 38	34,50	18,75	100,00	0,00
Σ		184,00	100,00		

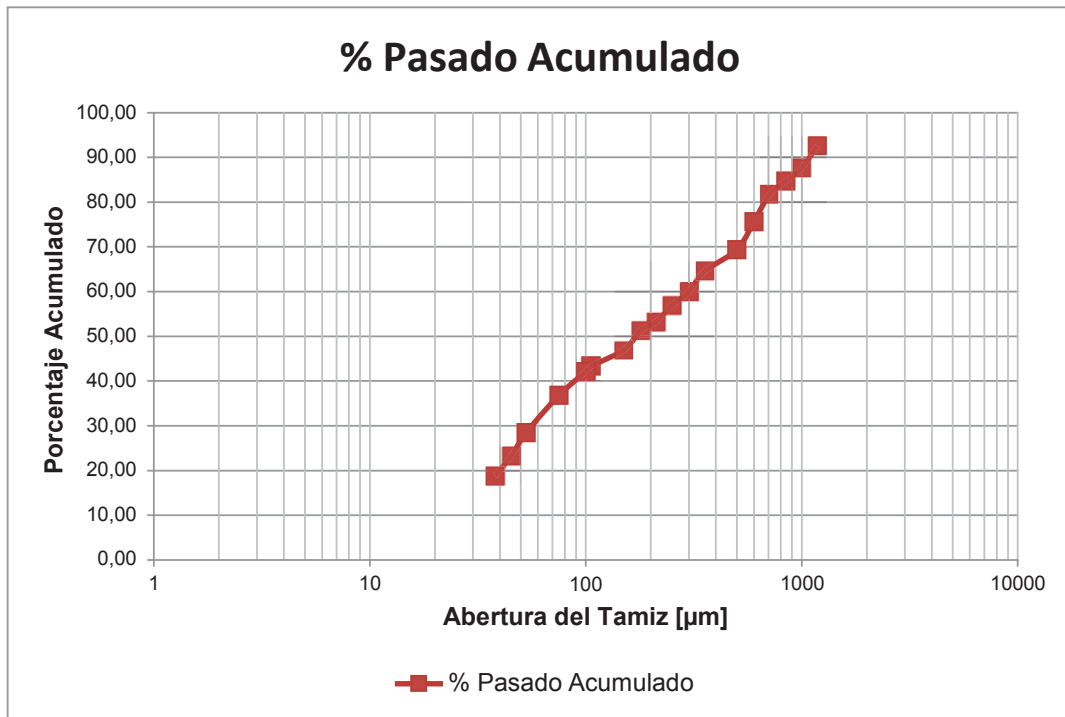


Figura AI.4. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Verde Puyo

Tabla AI.30. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Verde Puyo

d₈₀ (µm)	d₆₀ (µm)	d₃₀ (µm)	d₁₀ (µm)	Cu	Cc
678	301	58	-	-	-

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 27

Tabla AI.31. Granulometría Arcilla Roja Sigchos

Granulometría Arcilla Roja Sigchos					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 300,20 (g)			Peso de la muestra: 229,40 (g)		
Peso final: 229,40 (g)			Tiempo: 15 minutos		
Porcentaje de pérdida: 0,10 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía seca		
Porcentaje de finos: 27,51 %			Número de tamices: 18		
Malla #	Abertura del Tamiz (µm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
16	1180	15,20	6,63	6,63	93,37
18	1000	11,70	5,11	11,74	88,26
20	850	7,70	3,36	15,10	84,90
25	710	8,60	3,75	18,86	81,14
30	600	13,00	5,67	24,53	75,47
35	500	15,10	6,59	31,12	68,88
45	355	17,70	7,73	38,85	61,15
50	300	12,80	5,59	44,43	55,57
60	250	9,40	4,10	48,54	51,46
70	212	13,30	5,81	54,34	45,66
80	180	6,40	2,79	57,14	42,86
100	150	18,00	7,86	64,99	35,01
140	106	21,60	9,43	74,42	25,58
150	100	2,40	1,05	75,47	24,53
200	75	20,40	8,90	84,37	15,63
270	53	17,20	7,51	91,88	8,12
325	45	6,30	2,75	94,63	5,37
400	38	0,50	0,22	94,85	5,15
Fondo	< 38	11,80	5,15	100,00	0,00
Σ		229,10	100,00		

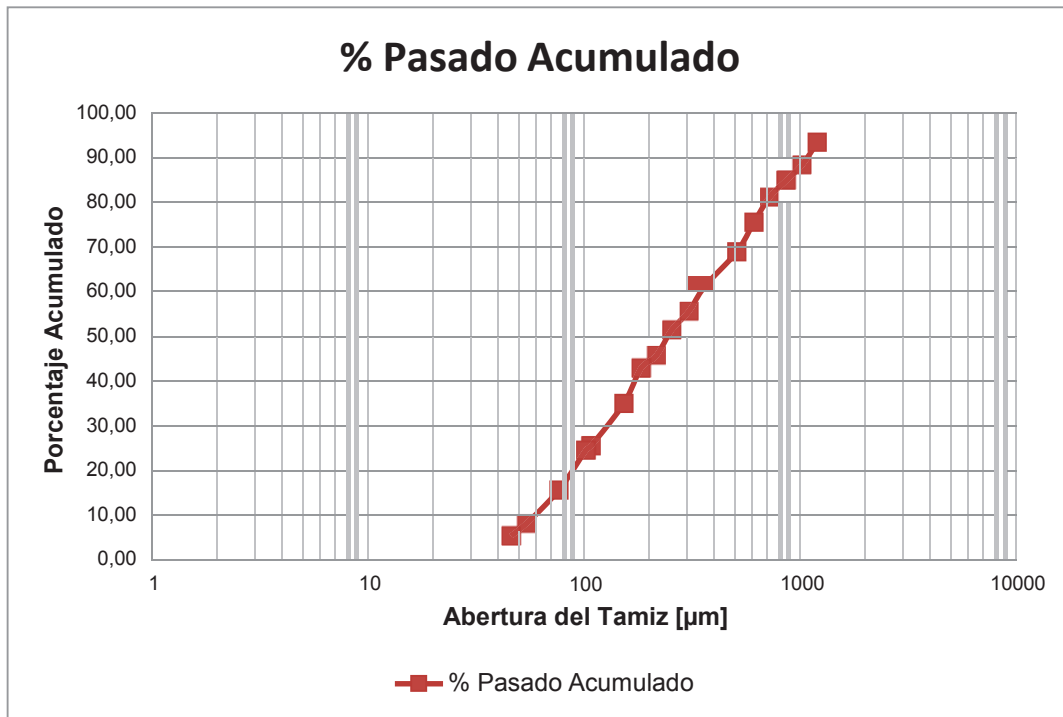


Figura AI.5. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Roja Sigchos

Tabla AI.32. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Roja Sigchos

d₈₀ (µm)	d₆₀ (µm)	d₃₀ (µm)	d₁₀ (µm)	Cu	Cc
678	344	127	59	5,83	0,79

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 28

Tabla AI.33. Granulometría Mineral arcilloso “La Victoria”

Granulometría Mineral arcilloso “La Victoria”					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 300,00 (g)			Peso de la muestra: 240,30 (g)		
Peso final: 240,30 (g)			Tiempo: 15 minutos		
Porcentaje de pérdida: 0,50 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía seca		
Porcentaje de finos: 24,27 %			Número de tamices: 18		
Malla #	Abertura Del Tamiz (µm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
16	1180	11,10	4,64	4,64	95,36
18	1000	10,70	4,48	9,12	90,88
20	850	7,50	3,14	12,25	87,75
25	710	7,60	3,18	15,43	84,57
30	600	19,40	8,11	23,55	76,45
35	500	19,20	8,03	31,58	68,42
45	355	20,50	8,57	40,15	59,85
50	300	14,50	6,06	46,21	53,79
60	250	11,20	4,68	50,90	49,10
70	212	14,10	5,90	56,80	43,20
80	180	7,70	3,22	60,02	39,98
100	150	18,60	7,78	67,80	32,20
140	106	16,90	7,07	74,86	25,14
150	100	4,10	1,71	76,58	23,42
200	75	17,60	7,36	83,94	16,06
270	53	16,90	7,07	91,01	8,99
325	45	3,90	1,63	92,64	7,36
400	38	4,50	1,88	94,52	5,48
Fondo	< 38	13,10	5,48	100,00	0,00
Σ		239,10	100,00		

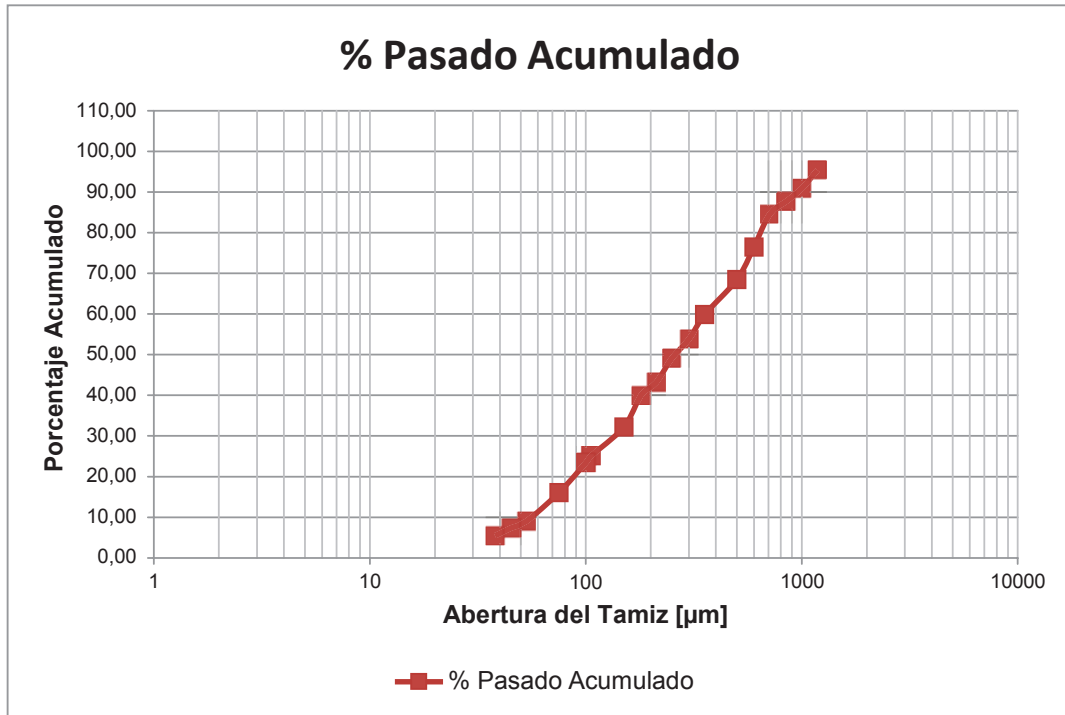


Figura AI.6. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Mineral arcilloso “La Victoria”

Tabla AI.34. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Mineral arcilloso “La Victoria”

d₈₀ (µm)	d₆₀ (µm)	d₃₀ (µm)	d₁₀ (µm)	Cu	Cc
649	359	137	57	6,30	0,92

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 29

Tabla AI.35. Granulometría Arcilla Gris Puyo

Granulometría Arcilla Gris Puyo					
DESLAMADO:			CONDICIONES DE OPERACIÓN:		
Peso inicial: 300,00 (g)			Peso de la muestra: 98,60 (g)		
Peso final: 98,60 (g)			Tiempo: 15 minutos		
Porcentaje de pérdida: 0,80 %			Tipo de ensayo: granulométrico vía seca		
Porcentaje de finos: 68,73 %			Número de tamices: 20		
Malla #	Abertura del Tamiz (µm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasado Acumulado
16	1180	0,80	0,82	0,82	99,18
18	1000	0,40	0,41	1,23	98,77
20	850	0,30	0,31	1,53	98,47
25	710	0,10	0,10	1,64	98,36
30	600	1,20	1,23	2,86	97,14
35	500	0,90	0,92	3,78	96,22
40	425	0,10	0,10	3,89	96,11
45	355	1,50	1,53	5,42	94,58
50	300	1,40	1,43	6,85	93,15
60	250	1,40	1,43	8,28	91,72
70	212	2,50	2,56	10,84	89,16
80	180	1,90	1,94	12,78	87,22
100	150	8,10	8,28	21,06	78,94
140	106	13,30	13,60	34,66	65,34
150	100	2,70	2,76	37,42	62,58
180	80	1,90	1,94	39,37	60,63
200	75	16,70	17,08	56,44	43,56
270	53	21,90	22,39	78,83	21,17
325	45	10,10	10,33	89,16	10,84
400	38	5,80	5,93	95,09	4,91
Fondo	< 38	4,80	4,91	100,00	0,00
Σ		97,80	100,00		

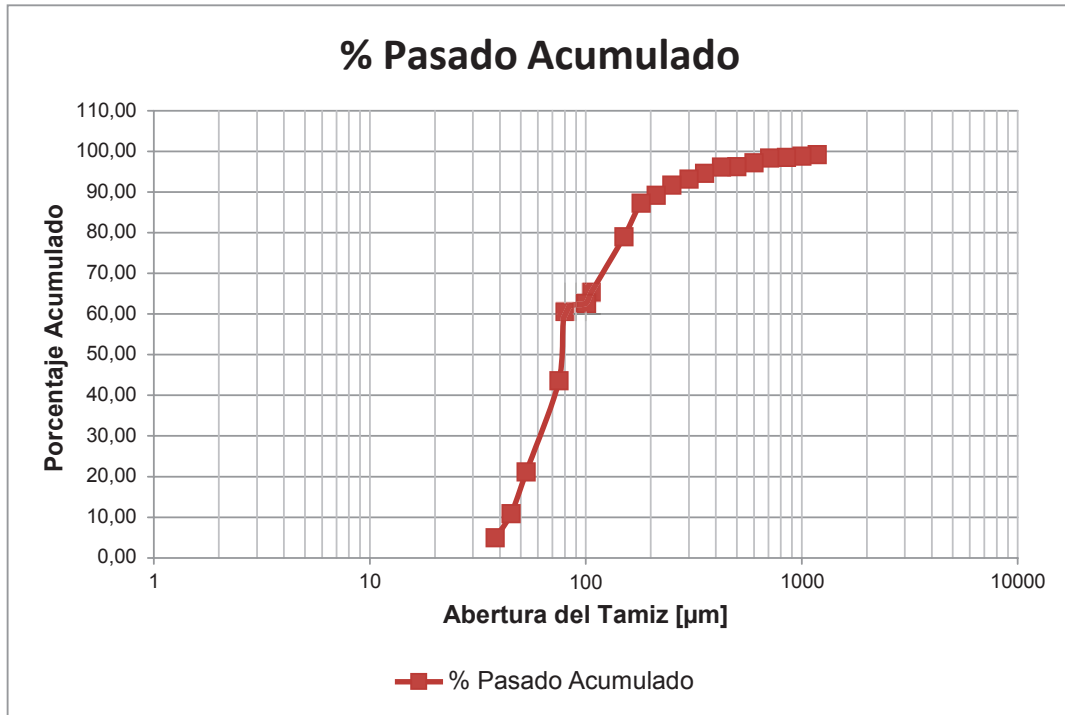


Figura AI.7. Porcentaje Pasado Acumulado vs Abertura del Tamiz muestra Arcilla Gris Puyo

Tabla AI.36. Resultados obtenidos caracterización granulométrica Arcilla Gris Puyo

d_{80} (μm)	d_{60} (μm)	d_{30} (μm)	d_{10} (μm)	Cu	Cc
154	80	62	44	1,82	1,09

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 30

Tabla AI.37. Contenido de Humedad Pasta Jovi Blanca

Contenido de Humedad Pasta Jovi Blanca				
Número de ensayo: W1		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	34,90	34,55	33,90	53,85
2	34,90	34,57	33,90	49,25
3	34,90	34,59	33,90	44,93
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				49,34 ± 3,64

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 31

Tabla AI.38. Contenido de humedad Pasta Jovi Terracota

Contenido de humedad Pasta Jovi Terracota				
Número de ensayo: W2		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	35,68	35,35	34,68	49,25
2	35,68	35,35	34,68	49,25
3	35,68	35,35	34,68	49,25
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				49,25 ± 0,00

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 32

Tabla AI.39. Contenido de humedad Arcilla Roja Sigchos

Contenido de humedad Arcilla Roja Sigchos				
Número de ensayo: W4		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	35,72	35,70	34,68	1,96
2	35,71	35,70	34,68	0,98
3	35,67	35,66	34,68	1,02
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				1,32 ± 0,45

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 33

Tabla AI.40. Contenido de humedad Mineral arcilloso “La Victoria”

Contenido de humedad Mineral arcilloso “La Victoria”				
Número de ensayo: W7		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	35,79	35,72	34,68	6,73
2	35,72	35,66	34,68	6,12
3	35,84	35,77	34,68	6,42
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				6,42 ± 0,08

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 34

Tabla AI.41. Contenido de humedad Caolín Puyo

Contenido de humedad Caolín Puyo				
Número de ensayo: W3		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M _h (g)	M _s (g)	M _r (g)	W
1	35,69	35,63	34,68	6,32
2	35,73	35,67	34,68	6,06
3	35,68	35,62	34,68	6,38
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				6,25 ± 0,14

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 35

Tabla AI.42. Contenido de humedad Arcilla Verde Puyo

Contenido de humedad Arcilla Verde Puyo				
Número de ensayo: W5		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M _h (g)	M _s (g)	M _r (g)	W
1	35,73	35,70	34,68	2,94
2	35,68	35,65	34,68	3,09
3	35,70	35,67	34,68	3,03
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				3,02 ± 0,06

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 36

Tabla AI.43. Contenido de humedad Arcilla Gris Puyo

Contenido de humedad Arcilla Gris Puyo				
Número de ensayo: W6		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	35,76	35,75	34,68	0,93
2	35,68	35,67	34,68	1,01
3	35,72	35,71	34,68	0,97
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				0,97 ± 0,03

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 37

Tabla AI.44. Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca

Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Blanca				
Número de ensayo: W8		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W
1	45,08	44,88	34,68	1,96
2	45,58	45,28	34,68	2,83
3	45,58	45,38	34,68	2,87
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				2,55 ± 0,42

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 38

Tabla AI.45. Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota

Contenido de humedad Aglomerante Pasta de Moldeo Terracota				
Número de ensayo: W9		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M _h (g)	M _s (g)	M _r (g)	W
1	44,88	44,68	34,68	2,00
2	45,38	45,18	34,68	1,90
3	45,28	44,98	34,68	2,91
Resultado: Media (\bar{x}) ± Desviación estándar σ				2,29 ± 0,45

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ANEXO II

DIFRACCIÓN RAYOS X DE MATERIAS PRIMAS

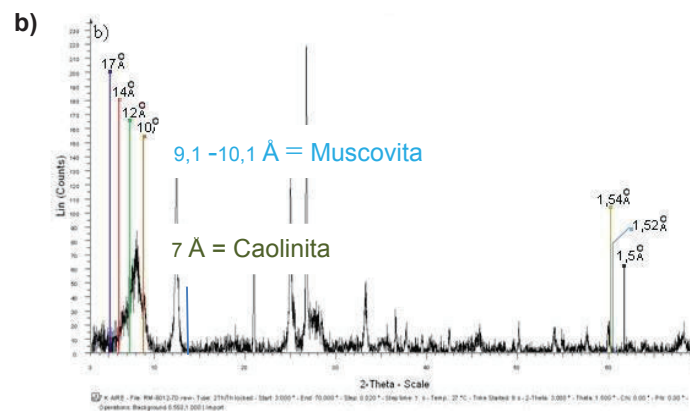
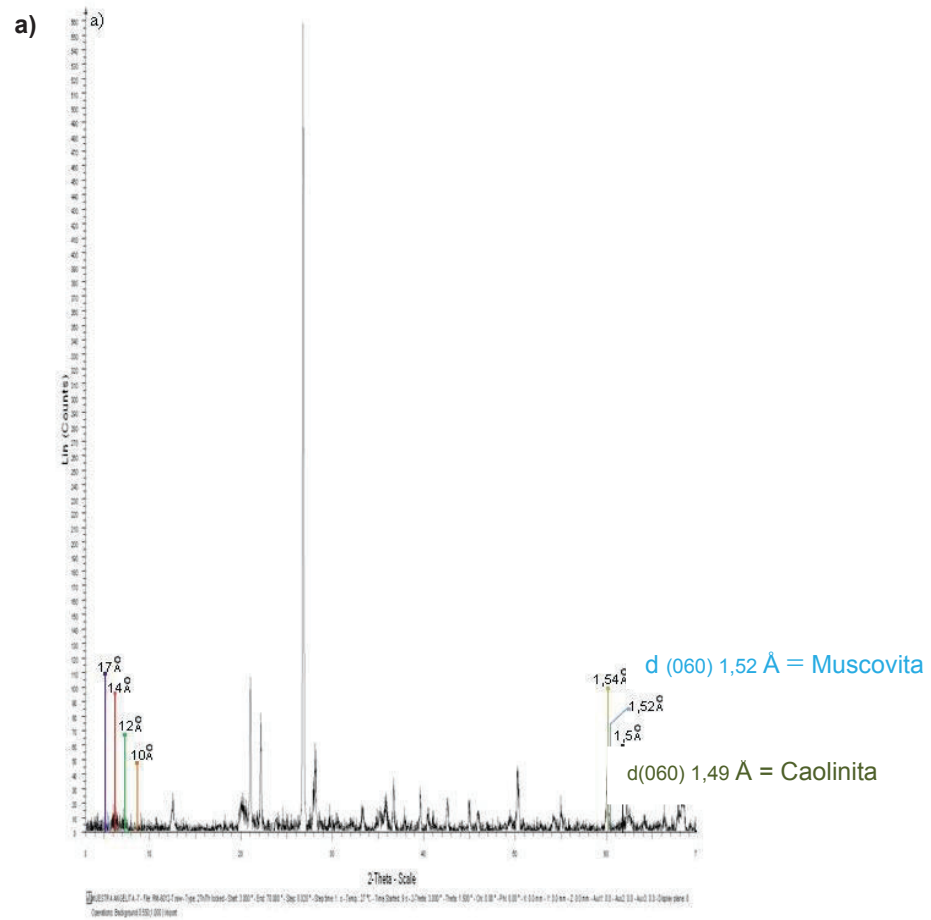


Figura A1.1. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

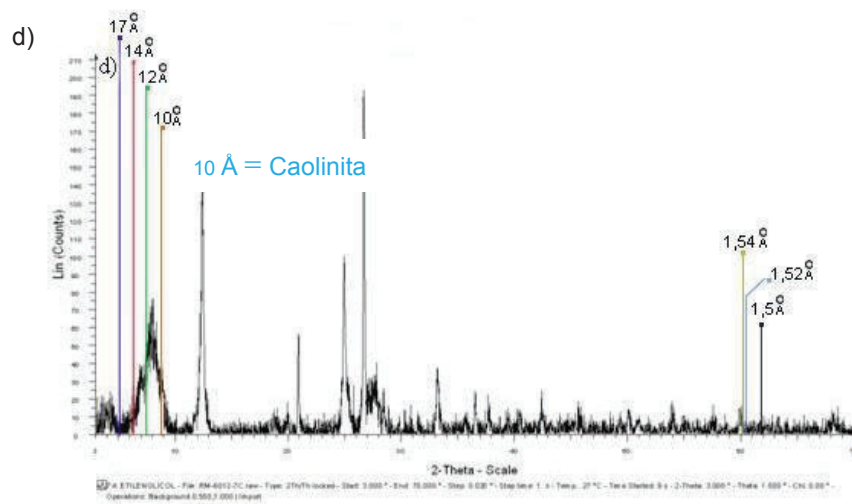
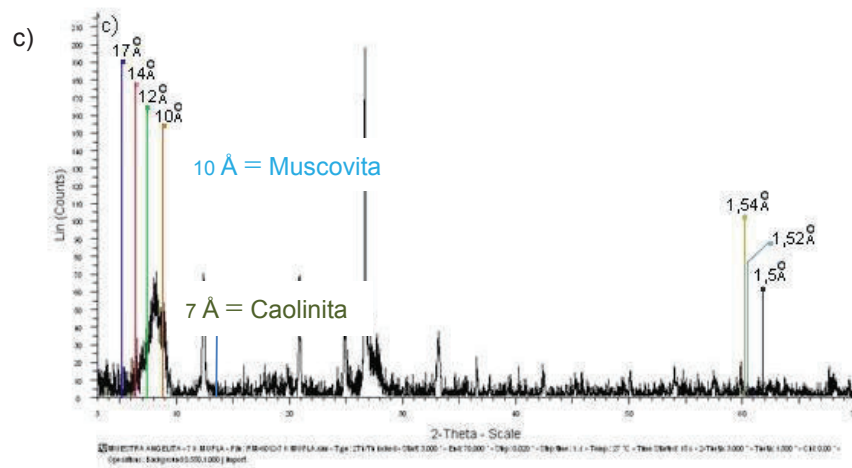


Figura A1.2. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con KCl: c) 550 ° C; d) Solvatación en Etilenglicol

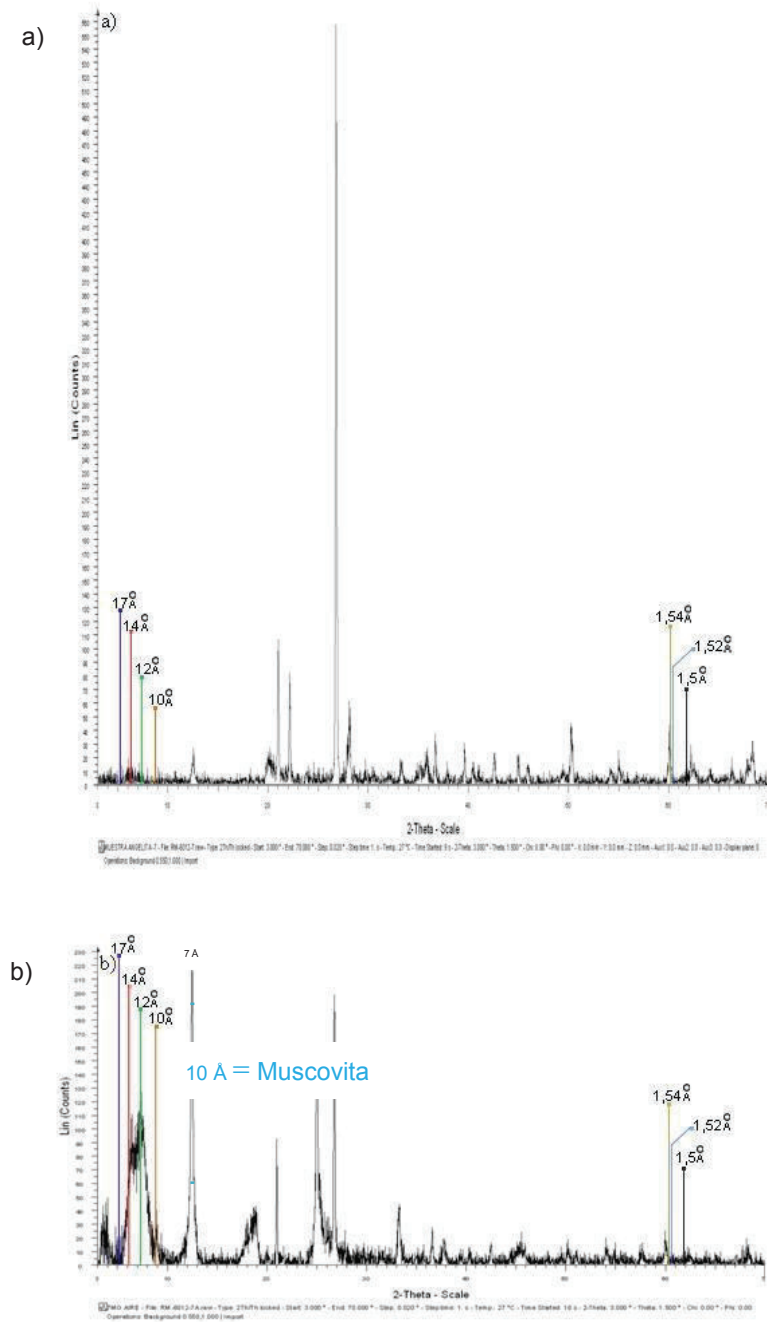


Figura A1.3. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire.

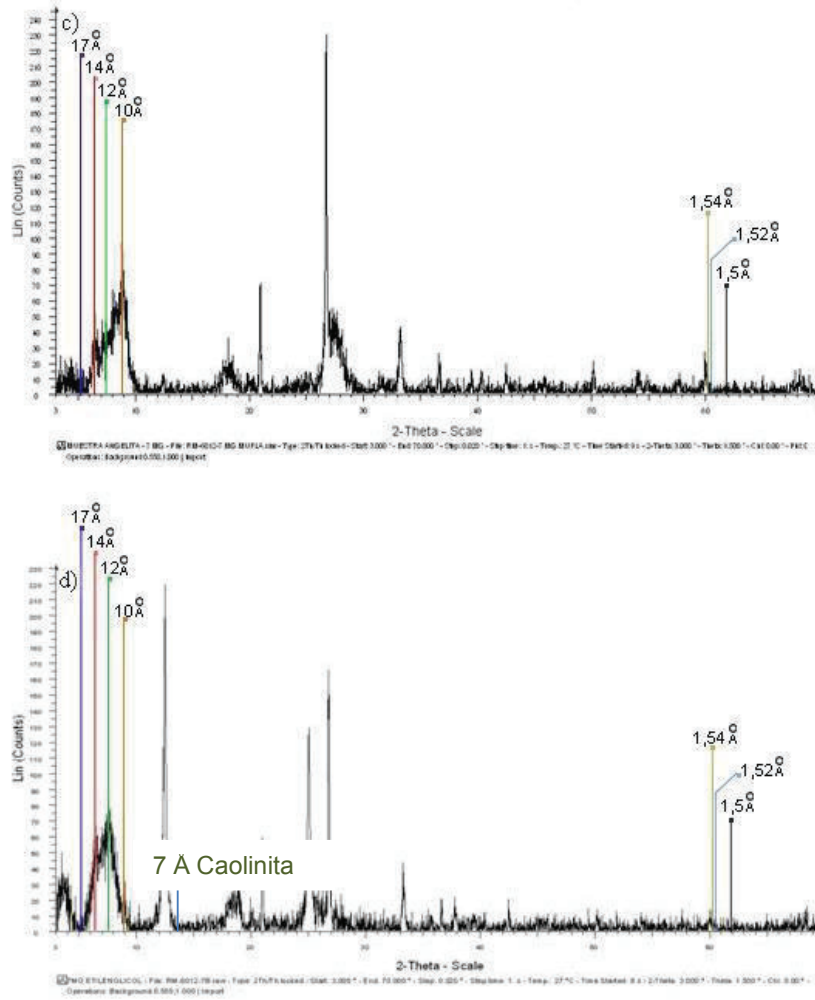
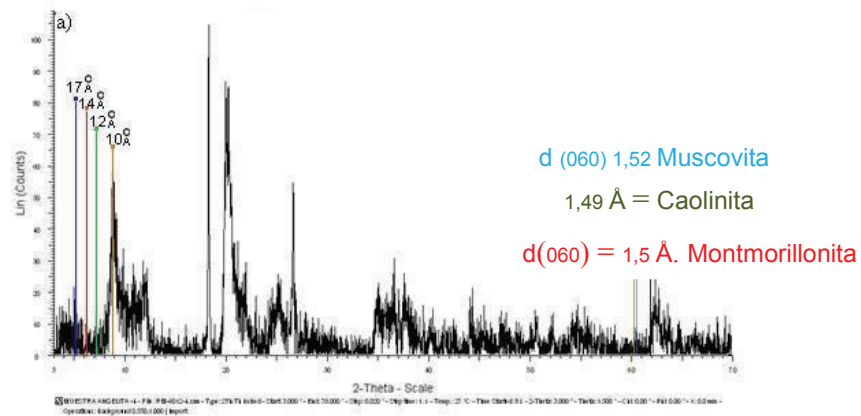


Figura AI.4. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Roja Sigchos saturada con magnesio c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol

a)



b)

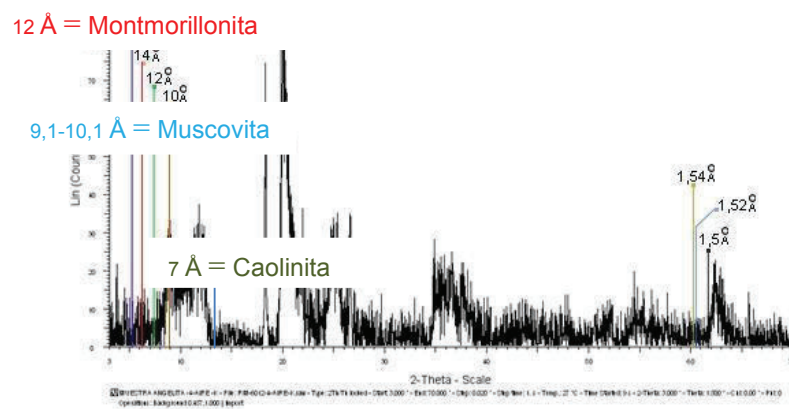


Figura AI.5. Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

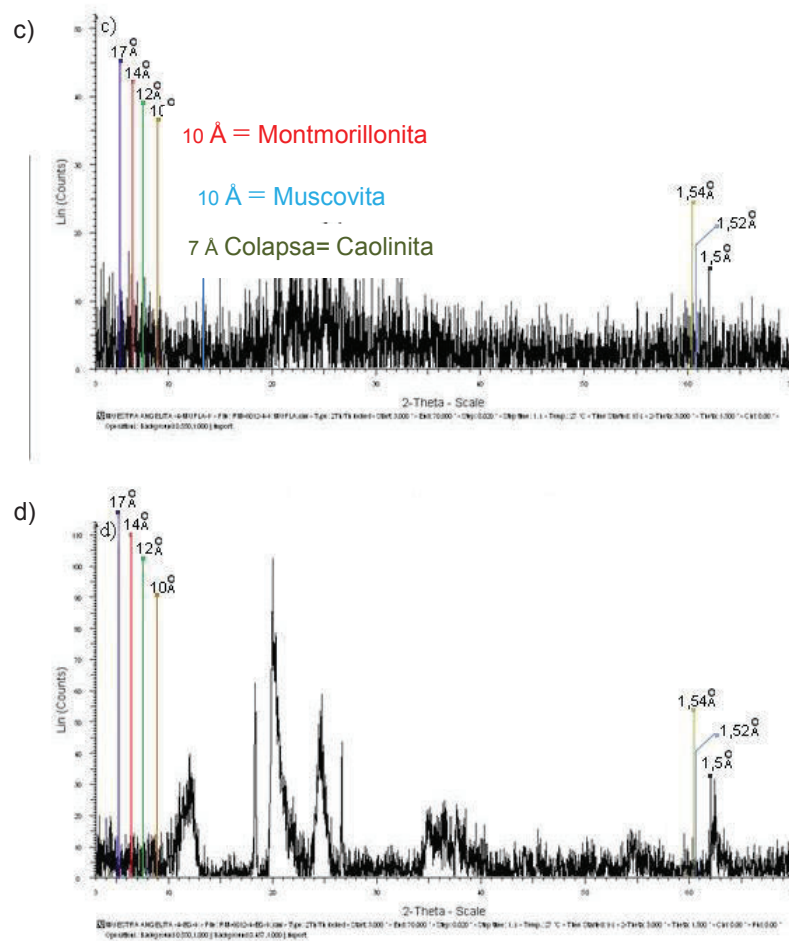


Figura A1.6. Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con KCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol

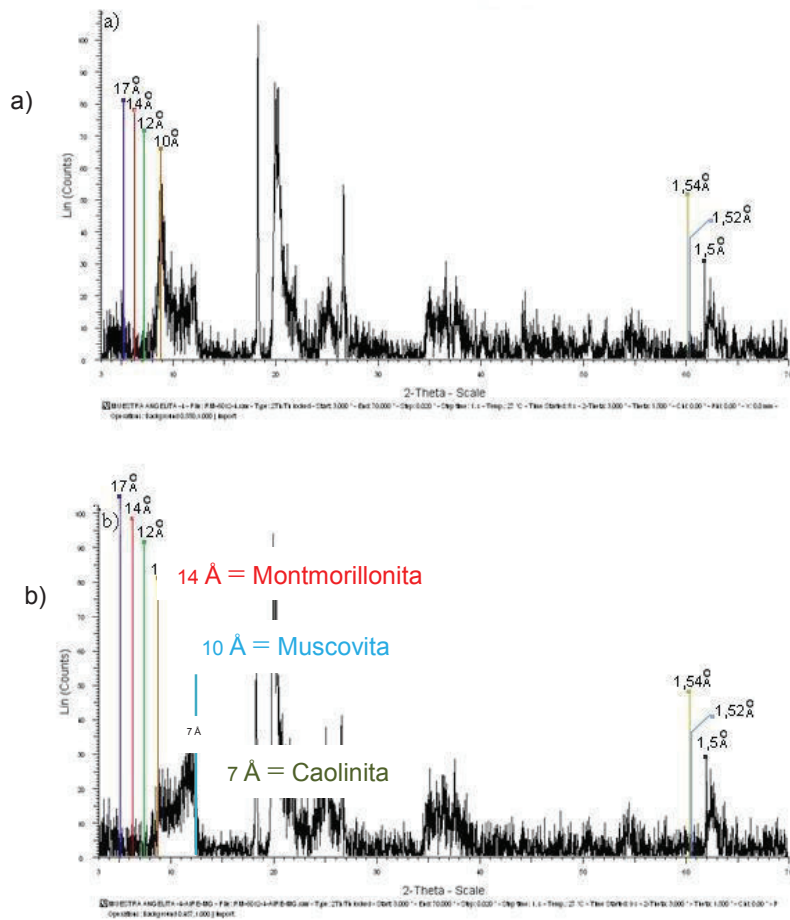


Figura AI.7. Difractogramas de Rayos X de muestra Caolín Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

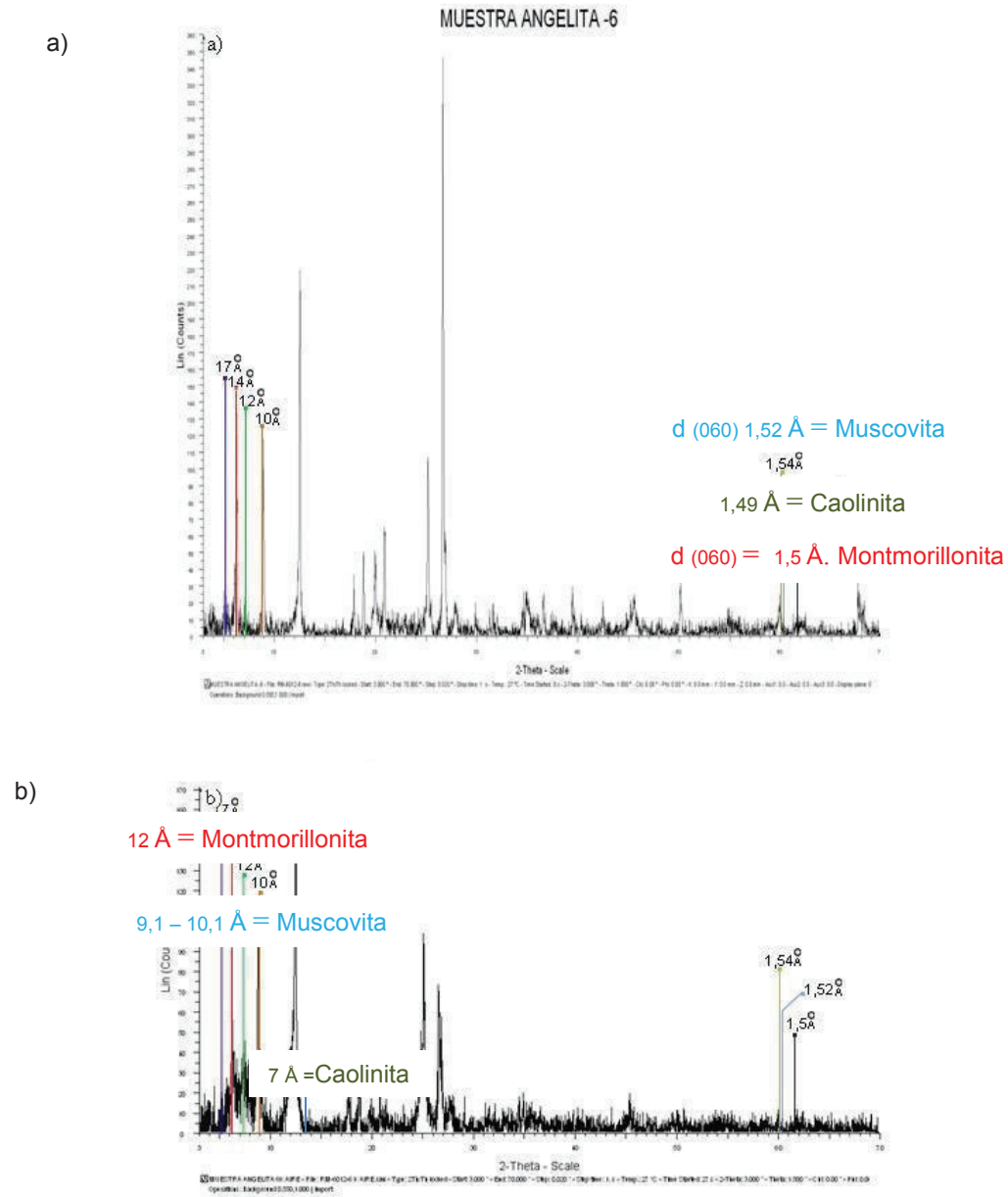


Figura AI.9. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con KCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

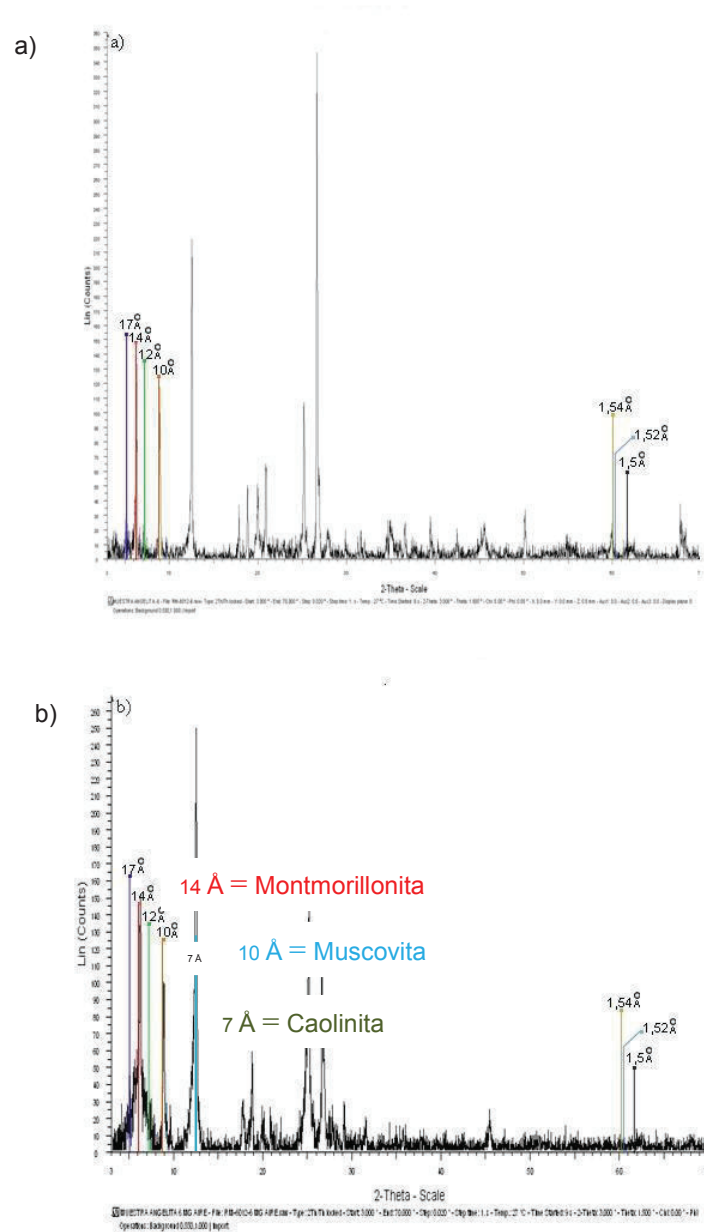


Figura AI.11. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

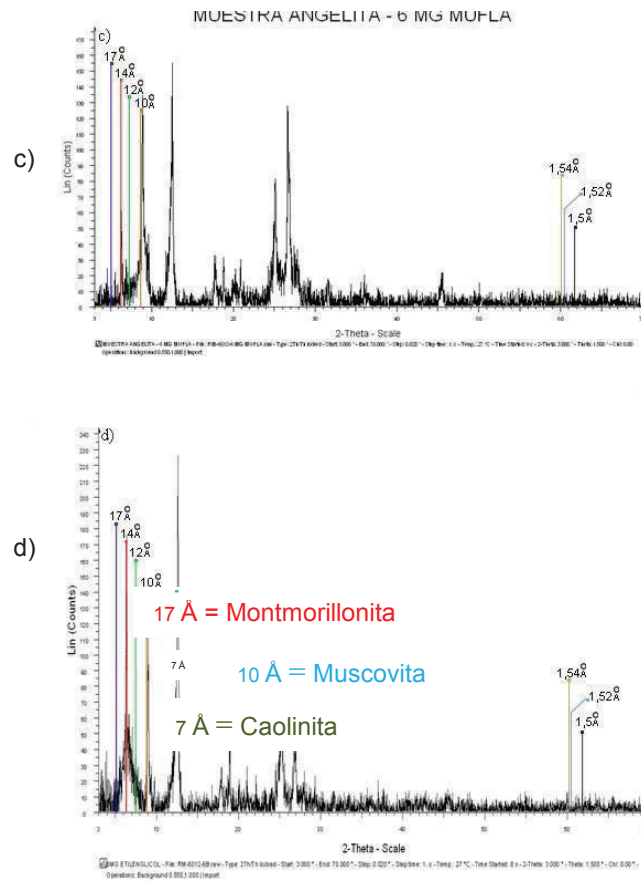


Figura AI.12. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Verde Puyo saturada con $MgCl$: c) $550^{\circ}C$ d) Solvatación en Etilenglicol

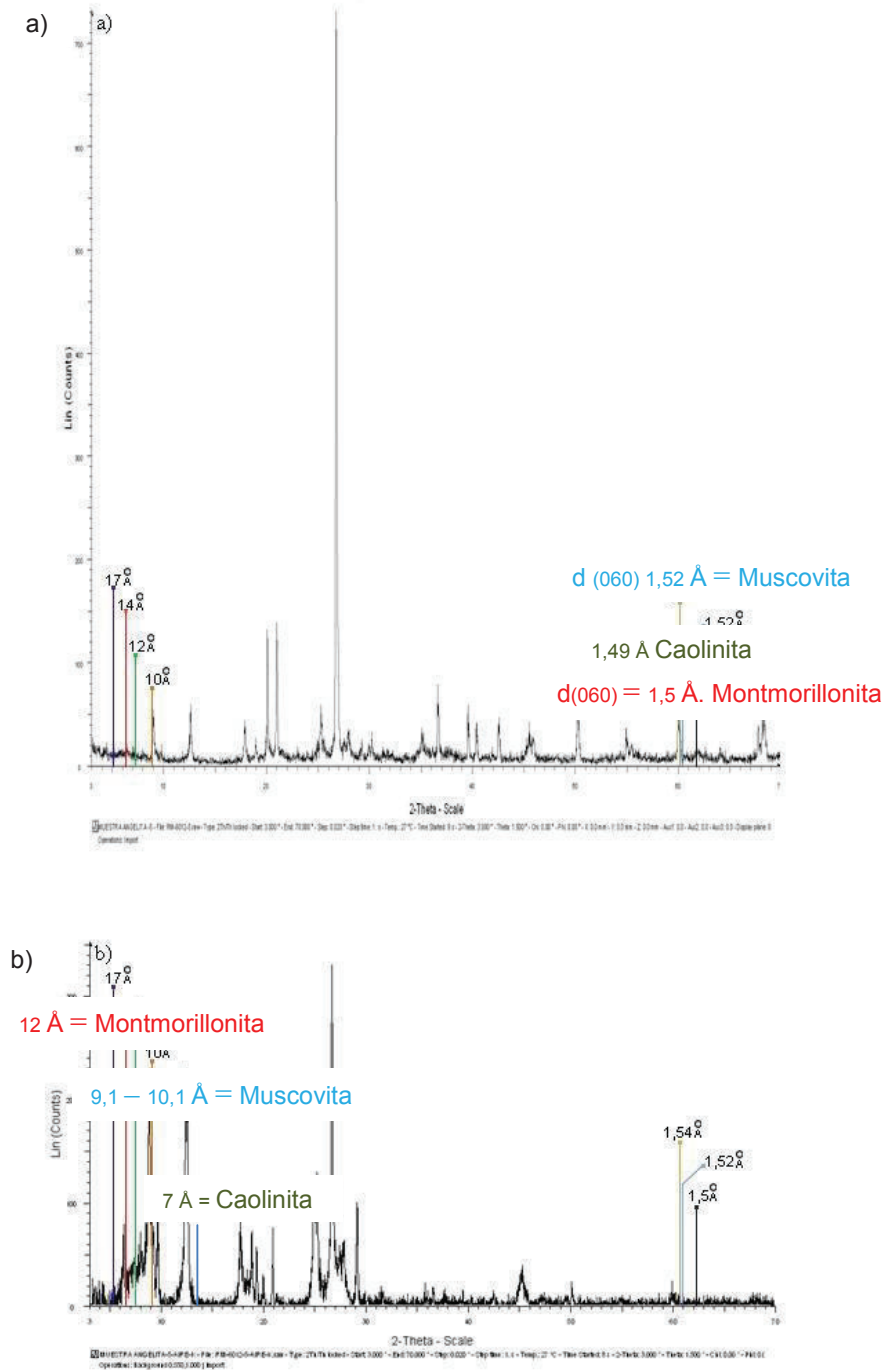


Figura AII.1. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con KCl:
a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

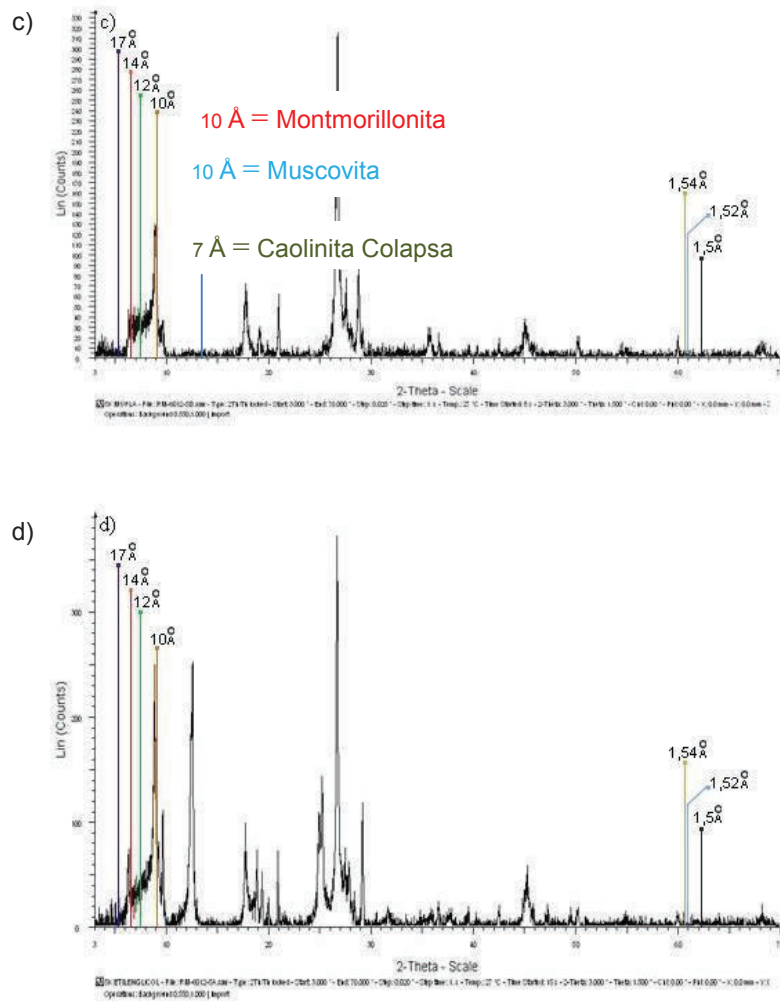


Figura AI.14. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con KCl:
c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol

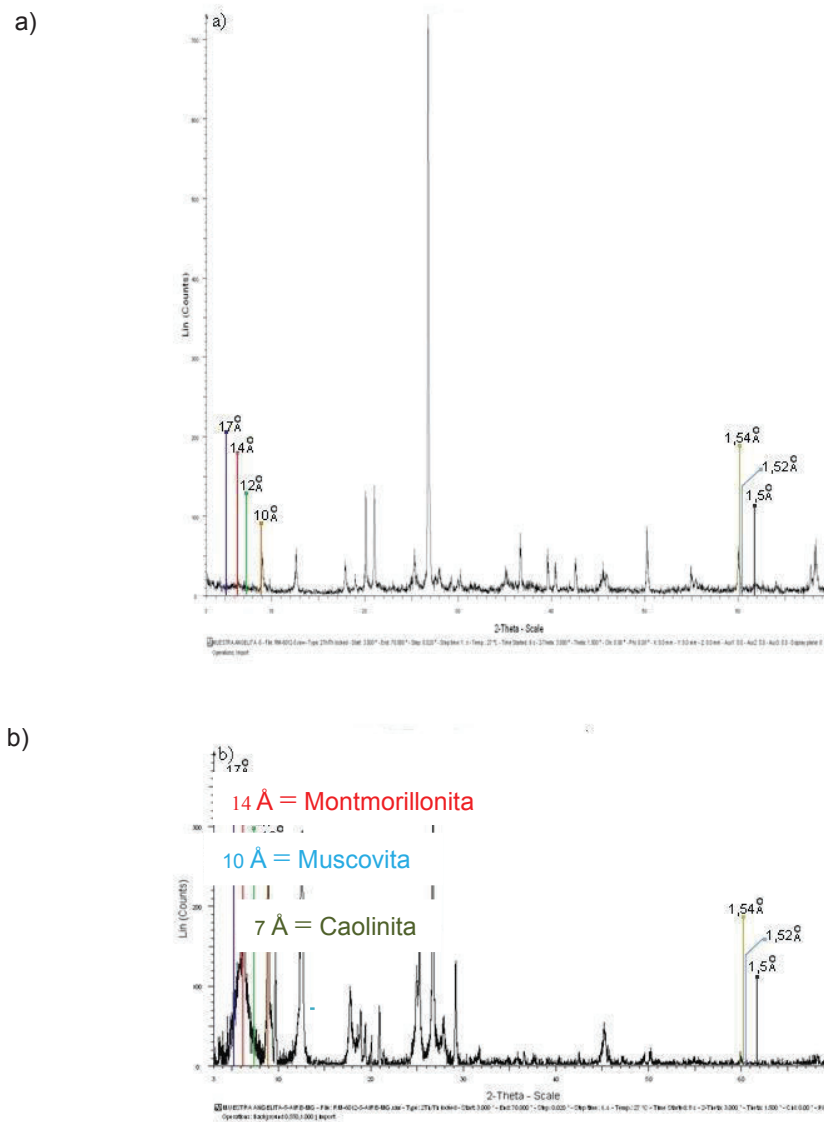


Figura AI.15. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con MgCl: a) Sin Tratamiento, b) Secado al aire

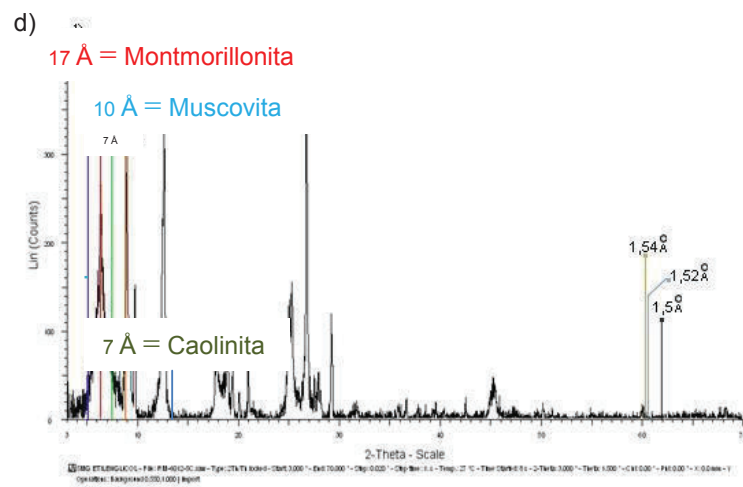
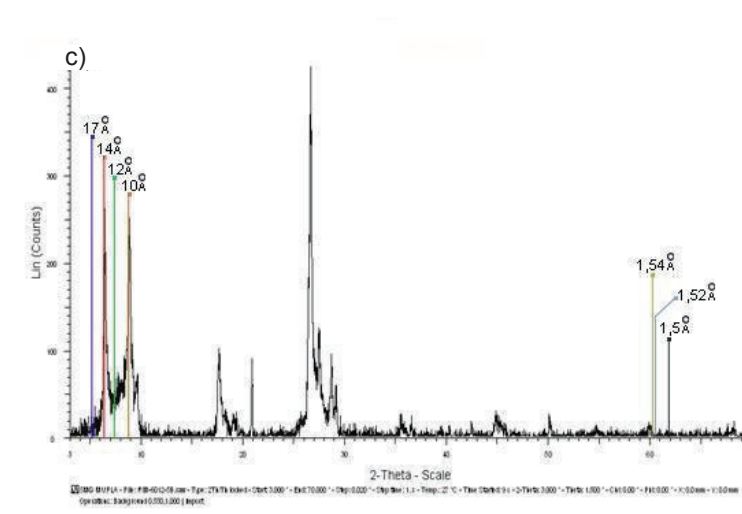


Figura AI.16. Difractogramas de Rayos X de muestra Arcilla Gris Puyo saturada con MgCl: c) 550 ° C d) Solvatación en Etilenglicol

ANEXO III

PASTAS DE MOLDEO

Tabla AII.1. Propiedades físicas en probetas de pastas de moldeo color blanco

Composición	A (cm)	B (cm)	C (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Densidad aparente (g/cm ³)	Color Húmedo
Pasta Jovi Blanca	3,5	2,0	1,2	8,4	16,5	1,96	Gris Claro (Hue N 8/0)
70 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2,0	1,2	8,4	15,8	1,88	Gris Claro (Hue 10 YR 8/1)
65 % Caolín Puyo, 5 % Verde Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2,0	1,2	8,4	17,4	2,07	Gris Claro (Hue 10 YR 8/1)
35 % Caolín Puyo, 35 % Verde Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2,0	1,2	8,4	16,9	2,01	Gris Claro (Hue 5 Y 8/2)
5 % Caolín Puyo, 65 % Verde Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2,0	1,2	8,4	16,4	1,95	Gris Claro (Hue 5 Y 8/1)
55 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato, 15 % Aglomerante	3,5	2,0	1,2	8,4	16,4	1,95	Gris Claro (Hue 7,5 Y 8/2)
60% Caolín Puyo, 30% Carbonato, 10% Aglomerante	3,5	2,0	1,2	8,4	15,2	1,81	Gris Claro (Hue 7,5 Y 8/1)
65 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato, 5 % Aglomerante	3,5	2,0	1,2	8,4	14,8	1,76	Gris Claro (Hue 10 YR 8/1)
80 % Caolín Puyo, 15 % Carbonato, 5 % Aglomerante	3,5	2,0	1,2	8,4	16,1	1,92	Gris Claro (Hue 10 YR 8/1)

Tabla AII.2. Propiedades físicas en probetas de pastas de moldeo color terracota

Composición	A (cm)	B (cm)	C (cm)	Volumen (cm³)	Peso (cm)	Densidad aparente (g/cm³)	Color húmedo
Pasta Jovi Terracota	3,5	2	1,2	8,4	16,2	1,93	Anaranjado (Hue 2,5 YR 7/4)
65 % Arcilla Roja Sigchos, 5 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2	1,2	8,4	17,6	2,1	Marrón (Hue 7,5 YR 4/6)
35 % Arcilla Roja Sigchos, 35 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2	1,2	8,4	17,8	2,12	Marrón Amarillento (Hue 10 YR 5/6)
65 % Arcilla Roja Sigchos, 5 % Arcilla Gris Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2	1,2	8,4	16	1,9	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
35 % Arcilla Roja Sigchos, 35 % Arcilla Gris Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2	1,2	8,4	17,2	2,05	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
5 % Arcilla Roja Sigchos, 65 % Arcilla Gris Puyo, 30 % Carbonato	3,5	2	1,2	8,4	16,3	1,94	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
27,5 % Arcilla Roja Sigchos, 27,5 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato, 10 % Aglomerante	3,5	2	1,2	8,4	14,8	1,76	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
30 % Arcilla Roja Sigchos, 30 % Caolín Puyo, 30 % Carbonato, 5 % Aglomerante	3,5	2	1,2	8,4	14,2	1,69	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)
32,5 % Arcilla Roja Sigchos, 32,5 % Caolín Puiyo, 15 % Carbonato, 5 % Aglomerante	3,5	2	1,2	8,4	16,6	1,98	Marrón Rojizo Apagado (Hue 2,5 YR 5/3)

Tabla AII.3. Composición mineralógica de pastas de moldeo previas a las óptimas

Mineral	Fórmula	Pasta de Moldeo Blanca	Pasta de Moldeo Terracota
		Contenido %	
Cuarzo	SiO ₂	4	15
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	30	10
Grupo plagioclasa (albita, andesina, anortita)	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	3	5
Calcita	CaCO ₃	51	50
Gibbsita	Al(OH) ₃	30	10

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 39

Tabla AII.4. Datos obtenidos ensayo Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo blanca

Límite líquido según Pfefferkorn Pasta de moldeo blanca								
Contenido de agua agregado por cada 300 g de mezcla	Prueba N°	H0 cm	H1 cm	H0/H1	Mh g	Ms g	Mr g	Porcentaje de humedad (% W)
90 ml	1	3,49	1,72	2,03	58,23	45,29	0,21	28,70
	2	3,90	2,20	1,77	62,65	48,70	0,22	28,78
	3	3,71	1,12	3,31	57,59	43,07	0,21	33,87
	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)				2,37 ± 0,67	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)		30,45 ± 2,42
120 ml	1	3,67	1,28	2,87	59,93	45,03	0,26	33,30
	2	3,09	1,15	2,69	61,67	45,92	0,18	34,45
	3	3,475	1,60	2,17	49,82	37,45	0,16	33,18
	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)				2,58 ± 0,30	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)		33,64 ± 0,57

W = Contenido de humedad (%)

Mh = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

Ms = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

Mr = Peso de recipiente (g)

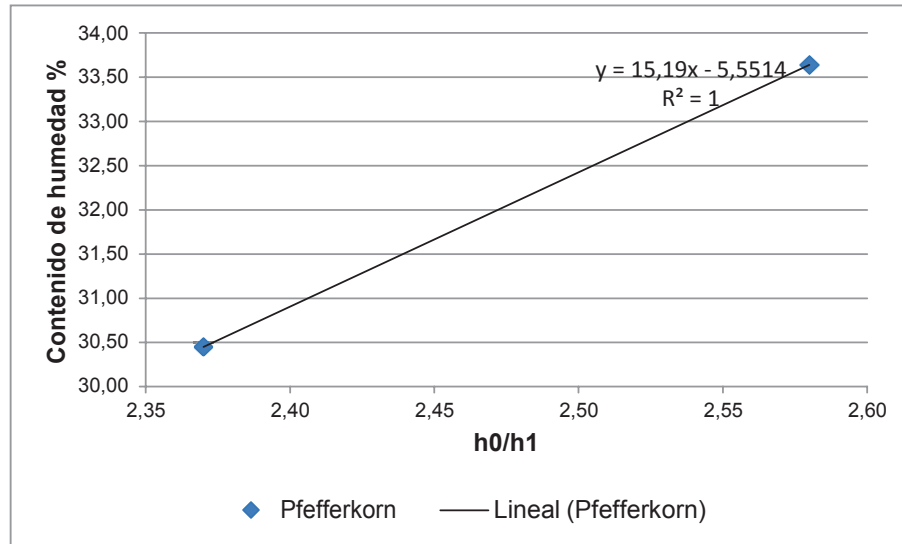


Figura AII.1. Regresión lineal para obtener el límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn, pasta blanca

Tabla AII.5. Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo blanca

Muestra	h_0/h_1	Contenido de humedad %	Pendiente
Pasta de moldeo blanca	3,30	44,58	15,19

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 40

Tabla AII.6. Límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn pasta de moldeo terracota

Límite líquido según Pfefferkorn Pasta de moldeo terracota								
Contenido de agua agregado por cada 300 g de mezcla	Prueba N°	H0 cm	H1 cm	H0/H1	Mh g	Ms g	Mr g	% W
90 ml	1	2,80	1,50	1,87	45,36	37,14	0,23	22,25
	2	2,52	1,29	1,95	39,25	32,48	0,22	20,99
	4	2,59	1,47	1,76	41,60	33,91	0,23	22,85
	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)			1,86 \pm 0,08	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)			22,03 \pm 0,75
120 ml	1	3,42	0,86	3,98	58,55	42,35	0,25	38,48
	3	3,32	0,7	4,74	52,72	37,48	0,28	40,95
	4	3,39	0,86	3,94	53,41	39,01	0,30	37,22
	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)			4,22 \pm 0,37	Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)			38,88 \pm 1,55

W = Contenido de humedad (%)

Mh = Peso de recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

Ms = Peso de recipiente más la muestra de suelo seco (g)

Mr = Peso de recipiente (g)

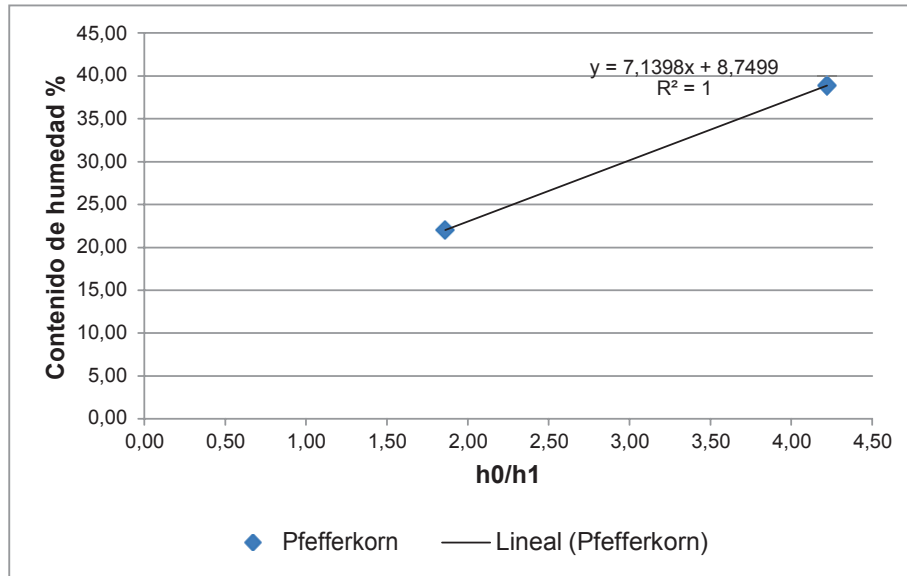


Figura AII.2. Regresión lineal para obtener el límite líquido de acuerdo a Pfefferkorn, pasta terracota

Tabla AII.7. Límite líquido Pasta de Moldeo Terracota

Muestra	h_0/h_1	Contenido de humedad %	Pendiente
Pasta de moldeo terracota	3,30	32,31	7,14

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 41

Tabla AII.8. Límite líquido Pasta de Moldeo Blanca

Límite Líquido Pasta de Moldeo Blanca					
Número de muestra: RM-6012					
Cantidad de agua añadida	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	W	Número de Golpes
30 mL	30,59	28,45	21,23	29,70	50
25 mL	42,65	40,92	34,69	27,67	86
40 mL	36,16	34,38	28,78	31,85	32

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

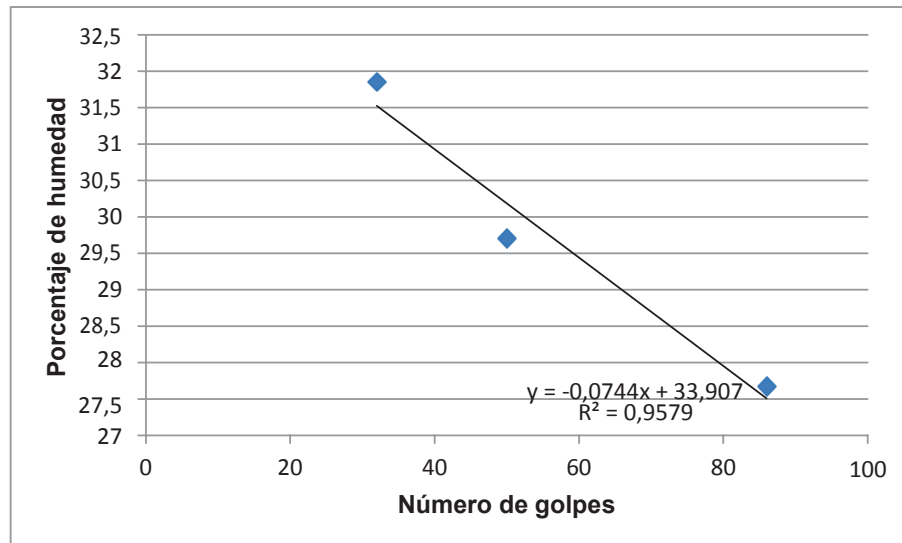


Figura AII.3. Límite líquido pasta de moldeo blanca

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 42

Tabla AII.9. Límite líquido Pasta de Moldeo Terracota

Límite Líquido Pasta de Moldeo Terracota					
Número de muestra: RM-6012					
Cantidad de agua añadida	M_h (g)	M_s (g)	M_r (g)	% W	Número de Golpes
30 mL	44,98	42,47	33,90	29,30	> 100
25 mL	43,06	41,20	34,72	28,76	> 100
40 mL	42,87	41,02	34,90	30,19	86

W = Contenido de humedad (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

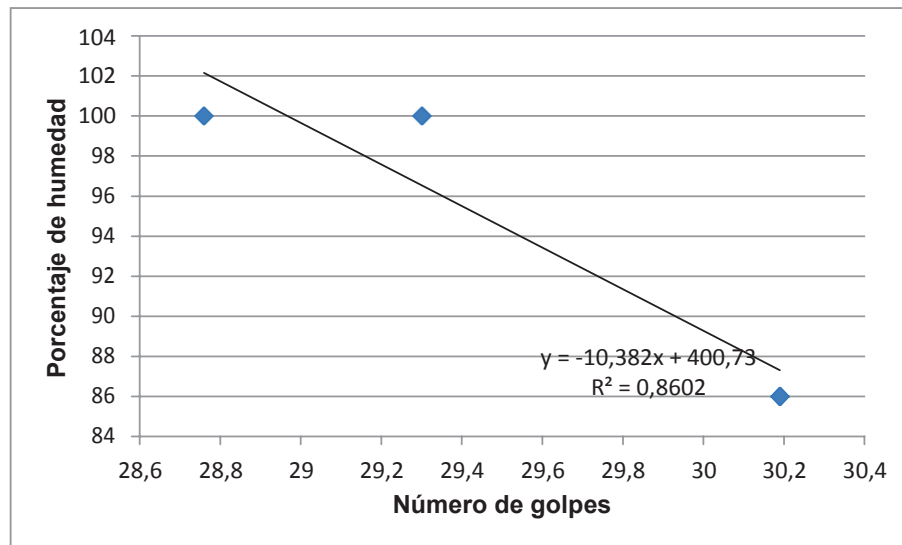


Figura AII.4. Límite líquido pasta de moldeo blanca

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 43

Tabla AII.10. Límite Plástico Pasta de Molde Blanca

Límite Plástico Pasta de Moldeo Blanca				
Número de ensayo: W10		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M _h (g)	M _s (g)	M _r (g)	LP
1	33,40	33,14	31,95	18,31
2	21,49	21,16	19,68	17,99
3	27,79	27,49	26,11	17,97
Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)				18,09 \pm 0,16

LP = Límite plástico (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

FICHA TÉCNICA N° 44

Tabla AII.11. Límite Plástico Pasta de Molde Blanca

Límite Plástico Pasta de Moldeo Terracota				
Número de ensayo: W11		Número de muestra: RM-6012		
N° de Prueba	M _h (g)	M _s (g)	M _r (g)	LP
1	26,34	25,65	22,61	18,62
2	24,58	24,10	21,99	18,42
3	22,08	21,89	20,98	17,20
Resultado ($\bar{x} \pm \sigma$)				18,08 \pm 0,63

LP = Límite plástico (%)

M_h = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa húmeda (g)

M_s = Peso de recipiente más la muestra de pasta arcillosa seca (g)

M_r = Peso de recipiente (g)

ANEXO IV

JUGUETES LÚDICOS

Tabla AIII.1. Datos experimentales para la obtención de porcentajes de pérdidas y absorción de humedad en placas “quemadas” a 850 °C

Dosificación materias primas	Peso placa (g)				% P _S	% P _T	% P _Q	% A
	P _H	P _S	P _Q	P _M				
100 % Mineral arcilloso La victoira	72,80	54,20	51,30	61,30	25,55	29,53	3,98	16,31
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Sigchos	69,60	51,10	48,10	58,20	26,58	30,89	4,31	17,35
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Sigchos	81,80	61,90	58,50	69,70	24,33	28,48	4,16	16,07
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Verde	67,90	51,90	47,10	57,10	23,56	30,63	7,07	17,51
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Verde	69,10	52,20	46,80	59,50	24,46	32,27	7,81	21,34
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Gris	77,40	58,80	55,50	66,20	24,03	28,29	4,26	16,16
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Gris	73,70	57,50	52,70	64,70	21,98	28,49	6,51	18,55

P_H = Peso placa húmeda

P_S = Peso placa seca

P_Q = Peso placa quemada

P_M = Peso placa curada húmeda

% P_S = Porcentaje de pérdidas por secado

% P_T = Porcentaje de pérdidas totales

% P_Q = Porcentaje de pérdidas a la quema

% A = Porcentaje de absorción de humedad

Tabla AIII.2. Datos experimentales para la obtención de porcentajes de pérdidas y absorción de humedad en placas “quemadas” a 1000 °C

Dosificación materias primas	Peso placa (g)				%P _S	%P _T	%P _Q	% A
	P _H	P _S	P _Q	P _M				
100 % Mineral arcilloso La Victoria	71,70	53,90	50,70	59,80	24,83	29,29	4,46	15,22
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Sigchos	78,90	58,90	55,30	64,90	25,35	29,91	4,56	14,79
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Sigchos	76,10	56,80	53,40	62,20	25,36	29,83	4,47	14,15
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Verde	70,00	54,00	48,40	56,20	22,86	30,86	8,00	13,88
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Verde	74,70	57,00	51,00	59,50	23,69	31,73	8,03	14,29
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Gris	79,10	60,10	56,40	65,60	24,02	28,70	4,68	14,02
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Gris	77,60	61,00	55,70	66,60	21,39	28,22	6,83	16,37

P_H = Peso placa húmeda

P_S = Peso placa seca

P_Q = Peso placa quemada

P_M = Peso placa curada húmeda

% P_S = Porcentaje de pérdidas por secado

% P_T = Porcentaje de pérdidas totales

% P_Q = Porcentaje de pérdidas a la quema

% A = Porcentaje de absorción de humedad

Tabla AIII.3. Datos experimentales para la obtención de contracción al secado y a la quema en placas “quemadas” a 850 °C

Dosificación Mezcla	Longitud (cm)						%C _S	%C _T	%C _Q	
		L _I	L _I media	L _S	L _S media	L _Q				L _Q media
100 % B	H	5,00	5,00	4,65	4,65	4,60	4,63	7,00	7,50	0,50
	D	5,00		4,65		4,65				
90 % B 10 % S	H	5,00	5,00	4,70	4,70	4,70	4,70	6,00	6,00	0,00
	D	5,00		4,70		4,70				
75 % B 25 % S	H	5,00	5,00	4,60	4,60	4,55	4,55	8,00	9,00	1,00
	D	5,00		4,60		4,55				
90 % B 10 % V	H	5,00	5,00	4,60	4,60	4,60	4,60	8,00	8,00	0,00
	D	5,00		4,60		4,60				
75 % B 25 % V	H	5,00	5,00	4,50	4,50	4,50	4,50	10,00	10,00	0,00
	D	5,00		4,50		4,50				
90 % B 10 % G	H	5,00	5,00	4,70	4,70	4,70	4,70	6,00	6,00	0,00
	D	5,00		4,70		4,70				
75 % B 25 % G	H	5,00	5,00	4,75	4,75	4,75	4,75	5,00	5,00	0,00
	D	5,00		4,75		4,75				

Tabla AIII.4. Datos experimentales para la obtención de contracción al secado y a la quema en placas “quemadas” a 1000 °C

Dosificación Mezcla	Longitud (cm)						%C _S	%C _T	%C _Q	
		L _I	L _I media	L _S	L _S media	L _Q				L _Q media
100 % B	H	5,00	5,00	4,65	4,65	4,60	4,60	7,00	8,00	1,00
	D	5,00		4,65		4,60				
90 % B 10 % S	H	5,00	5,00	4,70	4,70	4,65	4,65	6,00	7,00	1,00
	D	5,00		4,70		4,65				
75 % B 25 % S	H	5,00	5,00	4,65	4,65	4,60	4,63	7,00	7,50	0,50
	D	5,00		4,65		4,65				
90 % B 10 % V	H	5,00	5,00	4,60	4,60	4,50	4,50	8,00	10,00	2,00
	D	5,00		4,60		4,50				
75 % B 25 % V	H	5,00	5,00	4,50	4,50	4,40	4,40	10,00	12,00	2,00
	D	5,00		4,50		4,40				
90 % B 10 % G	H	5,00	5,00	4,75	4,75	4,70	4,68	5,00	6,50	1,50
	D	5,00		4,75		4,65				
75 % B 25 % G	H	5,00	5,00	4,75	4,75	4,75	4,75	5,00	5,00	0,00
	D	5,00		4,75		4,75				

Tabla AIII.5. Color a la quema en placas “quemadas” a 850 °C

Dosificación Pasta	Color a la quema
100 % Barro	Anaranjado 6/6 Hue 5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Sigchos	Anaranjado 7/6 Hue 5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Sigchos	Anaranjado 6/8 Hue 5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Verde	Anaranjado 6/8 Hue 7,5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Verde	Anaranjado Amarillo 7/8 Hue 7,5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Gris	Anaranjado 7/6 Hue 5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Gris	Anaranjado 7/6 Hue 5 YR

Tabla AIII.6. Color a la quema en placas “quemadas” a 1000 °C

Dosificación Pasta	Color a la quema
100 % Mineral arcilloso La Victoria	Anaranjado 6/8 Hue 5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Sigchos	Anaranjado 6/6 Hue 5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Sigchos	Anaranjado 6/6 Hue 5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Verde	Anaranjado 6/8 Hue 7,5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Verde	Anaranjado Amarillo 7/8 Hue 7,5 YR
90 % Mineral arcilloso La Victoria 10 % Puyo Gris	Anaranjado 7/6 Hue 5 YR
75 % Mineral arcilloso La Victoria 25 % Puyo Gris	Anaranjado 7/6 Hue 5 YR

ANEXO V

EJEMPLOS DE CÁLCULO EN DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

- *Dimensionamiento de tanques de agitación*

Como ejemplo de cálculo se tomó el dimensionamiento del tanque agitador en producción de aglomerante para pasta de moldeo blanca:

Densidad real aglomerante pasta de moldeo blanca: $2,38 \text{ g.cm}^{-3}$.

Porcentaje de sólidos totales (tanto por uno): 0,20.

Peso de la pulpa = $7812,50 \text{ g solución} + 781,25 \text{ g aglomerante} = 8593,75 \text{ g.día}^{-1}$ pulpa.

En un mes de producción el peso de la pulpa sería:

$$8593,75 \frac{\text{g}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 257812,50 \frac{\text{g}}{\text{mes}}$$

Determinación de la densidad de pulpa:

Para el aglomerante de la pasta de moldeo Blanca:

$$\rho_{\text{pulpa}} = \frac{1}{1-0,20 \frac{2,38-1}{2,38}} = 1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

El volumen de pulpa de cada aglomerante en solución de CaCO_3 sería:

$$\text{Volumen}_{\text{pulpa aglomerante blanca}} = \frac{257812,50 \text{ g}}{1,13 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 228152,66 \text{ cm}^3$$

Con el volumen libre para cada tanque, el volumen final para cada tanque sería:

$$\text{Volumen}_{\text{tanque aglomerante blanca}} = 228152,66 \times 1,10 \text{ cm}^3 = 250967,92 \text{ cm}^3$$

Entonces para cada tanque, las dimensiones internas serían:

$$D_{\text{aglomerante pasta de moldeo blanca}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 250967,92 \text{ cm}^3}{3,14}} = 68,37 \text{ cm} = 0,68 \text{ m}$$

La altura interna (L) para cada tanque sería:

$$L_{\text{aglomerante pasta de moldeo blanca}} = 68,37 \text{ m} = 0,68 \text{ m}$$

En el mercado, se dispone de tanques para lixiviación con un diámetro mínimo de 100,00 cm por lo tanto se eligieron tanques de lixiviación con diámetro de 100,00 cm, para una producción mensual de aglomerante celulósico para pastas de moldeo. Con un tiempo de operación de 6 horas, los detalles del equipo:

Tabla AIV.1. Resultados dimensionamiento tanque agitador

Número de catálogo	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Externo (mm)	Potencia motor (kW)	Peso (kg)
RJ10	1000	1001	1,5	350

- Dimensionamiento de estufa para secado

Cantidad de aglomerante a procesar al mes: $23437,50 \frac{g}{mes}$ tanto para aglomerante de pasta de moldeo blanca como terracota. La cantidad de agua evaporada para cada aglomerante sería:

$$m_{H_2O \text{ aglomerante blanca}} = 23437,50 \frac{g}{mes} \times \frac{2,22 \text{ g } H_2O}{100 \text{ g aglomerante}} = 520,31 \frac{g}{mes} H_2O$$

$$m_{H_2O \text{ aglomerante terracota}} = 23437,50 \frac{g}{mes} \times \frac{2,27 \text{ g } H_2O}{100 \text{ g aglomerante}} = 532,03 \frac{g}{mes} H_2O$$

Las densidades de pulpa para los aglomerantes húmedos serían:

$$\% \text{ sólidos aglomerante blanca} = \frac{23437,50 \text{ g}}{23437,50 \text{ g} + 520,31 \text{ g}} = 0,98$$

$$\% \text{ sólidos aglomerante terracota} = \frac{23437,50 \text{ g}}{23437,50 \text{ g} + 532,03 \text{ g}} = 0,98$$

$$\rho_{\text{pulpa aglomerante blanca}} = \frac{1 \frac{g}{cm^3}}{1 \frac{g}{cm^3} - 0,98 \times \frac{2,38 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3}}{2,38 \frac{g}{cm^3}}} = 2,31 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{\text{pulpa aglomerante terracota}} = \frac{1 \frac{g}{cm^3}}{1 \frac{g}{cm^3} - 0,98 \times \frac{2 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3}}{2 \frac{g}{cm^3}}} = 1,96 \frac{g}{cm^3}$$

El volumen de cada aglomerante húmedo, sería:

$$V_{\text{aglomerante blanca}} = \frac{23957,81 \text{ g}}{2,31 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 10371,35 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{aglomerante terracota}} = \frac{23969,53 \text{ g}}{1,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 12229,35 \text{ cm}^3$$

Para planchas de aglomerante húmedo de dimensiones: 60x40x1 cm, el volumen unitario sería:

$$V_{\text{unitario}} = 60 \times 40 \times 1 \text{ cm}^3 = 2400 \text{ cm}^3$$

El número de bandejas a utilizar para cada aglomerante sería:

$$\text{número de bandejas aglomerante blanca} = \frac{10371,35 \text{ cm}^3}{2400 \text{ cm}^3} = 4$$

$$\text{número de bandejas aglomerante terracota} = \frac{12229,35 \text{ cm}^3}{2400 \text{ cm}^3} = 5$$

En un espaciado de 10 cm entre bandejas, la altura de la cámara en el horno de estufa sería aproximadamente:

$$\text{altura cámara} = 9 \times 10 \text{ cm} = 90 \text{ cm}$$

Con todos estos datos y los resultados del balance de masas, el calor necesario para elevar la temperatura del agua desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de evaporación sería:

$$Q_1 = 46,88 \text{ kg} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 100 - 20 \text{ K} = 17751,68 \text{ kJ}$$

Calor latente de evaporación:

$$Q_2 = 46,88 \text{ kg} \times 2676,1 - 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 105810,97 \text{ kJ}$$

El calor total sería:

$$Q_{\text{TOTAL}} = 17751,68 \text{ kJ} + 105810,97 \text{ kJ} = 121562,65 \text{ kJ}$$

Para un tiempo de secado de 24 horas, la potencia empleada por el equipo sería:

$$Potencia = \frac{121562650 \text{ W.s}}{86400 \text{ s}} = 1406,97 \text{ W}$$

El equipo que cumple con las características de dimensionamiento, para un tiempo de operación de 24 horas, se muestran los detalles:

Tabla AIV.2. Resultados dimensionamiento estufa de secado

Modelo	Presión de uso (Mpa)	Potencia (kW)	Temperatura Máxima (°C)
CT-CT-C	0,2-0,8	15	140

- *Dimensionamiento de trituradoras de cuchillas*

Posterior secado de las planchas obtenidas del blanqueo por lixiviación en Carbonato de Calcio, se procedió a dimensionar una trituradora de cuchillas. La característica a determinar por cálculos fue la potencia aproximada de trabajo:

$$W = \frac{2 \times 3,14 \times 20}{60}$$

$$W = \frac{2\pi n}{60}$$

n puede ser de 1 a 100

$n = (r/m) = 20$ Tabla 1.4 Prontuario de Máquinas N. Larburu. Página 115.

Entonces la velocidad angular sería de 2,09 rad/s. Determinación del par en la trituradora: Para un radio de trabajo en 0,125 m, el torque resultante sería: Par = $0,125 \times 2531,25 = 316,41 \text{ W}$. Una vez obtenido el par se determina la potencia aproximada: Potencia = Par x Trabajo = $316,41 \text{ W} \times 0,134 = 42,40 \text{ kW} = 572,97 \text{ HP}$. Relaciones obtenidas del Prontuario de Máquinas, Autor: Nicolás Larburu. Páginas 141-142.

El equipo a emplearse sería un cortador doble eje con las siguientes características:

Tabla AIV.3. Resultados trituradora de cuchillas

Modelo	Potencia del motor (KW)	Peso (kg)
PC 180	2,2	160

- *Dimensionamiento de cajas alimentadoras*

Con la finalidad de presentar un ejemplo de cálculo, se tomó el dimensionamiento de caja alimentadora para almacenamiento de caolín proveniente del Puyo:

Cantidad a almacenar: 18750 g = 18,75 kg. El volumen a ocupar por el caolín proveniente del Puyo, sería función de la cantidad de masa a almacenar y de la densidad aparente:

$$V = \frac{m}{D_a} m^3 = \frac{18,750 \text{ kg}}{730 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,57 \times 10^{-2} m^3$$

El equipo disponible en el mercado es una caja alimentadora tipo Belt Feeder a escala de laboratorio, para un tiempo de operación de 0,011 h de Caolín Puyo y 0,019 h, en el procesamiento de Barro “La Victoria” los detalles del equipo se muestran:

Tabla AIV.4. Resultados dimensionamiento cajas alimentadoras

Modelo	Ancho de la banda (pulg)	Potencia (HP)	Volumen de la tolva (pie³)
020D-001	8	¼	60

- *Dimensionamiento de trituradoras de mandíbula:*

Como ejemplo de cálculo se tomó el dimensionamiento de una trituradora de mandíbulas para conminución de Caolín proveniente del Puyo. Potencia requerida para reducir de tamaño:

$$F80 = 50000,00 \mu\text{m}$$

$$P80 = 12700,00 \mu\text{m}$$

$$W_i = 7,10 \text{ kWh}\mu\text{m}^{0,5}\cdot\text{ston}^{-1} \text{ (tabla 1.11 del sustento teórico)}$$

Flujo másico a procesar: $18750,00 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1} \text{ caolín} = 8,61 \times 10^{-4} \text{ ston}\cdot\text{h}^{-1} \text{ caolín}$

Aplicada la Ecuación de Bond:

$$P = 10 \times 7,10 \times 8,61 \times 10^{-4} \left[\frac{1}{2 \cdot 12700,00} - \frac{1}{2 \cdot 50000,00} \right] \text{ kW}$$

$$P = 2,96 \times 10^{-5} \text{ kW} = 3,97 \times 10^{-4} \text{ HP}$$

Con un grado de reducción $R = 8$, la capacidad de la chancadora sería:

$$T = 0,6 \times \frac{24}{8} T_c \cdot h^{-1} = 1,8 T_c \cdot h^{-1} = 1632,95 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$$

Con un tiempo de operación de 0,011 horas, los detalles del equipo se muestran:

Tabla AIV.5. Resultados dimensionamiento trituradoras de mandíbula

Modelo	Apertura en la alimentación (pulg)	Tamaño en la descarga (pulg)	Potencia (HP)
010 ^a -014	4 x 6	1./4	5

- *Dimensionamiento de chancadoras de cono*

Conminución de Caolín proveniente de Puyo. Potencia requerida para reducir de tamaño:

$$F80 = 12700,00 \mu\text{m}; P80 = 74,00 \mu\text{m}$$

$$W_i = 7,10 \text{ kWh}\mu\text{m}^{0,5}\cdot\text{ston}^{-1} \text{ (tabla 1.11 del sustento teórico)}$$

Flujo másico a procesar: $18750,00 \text{ g.día}^{-1} \text{ caolín} = 8,61 \times 10^{-4} \text{ ston.h}^{-1} \text{ caolín}$

Aplicada la Ecuación de Bond:

$$P = 10 \times 7,10 \times 8,61 \times 10^{-4} \frac{1}{2 \sqrt{74,00}} - \frac{1}{2 \sqrt{12700,00}} \text{ kW}$$

$$P = 6,57 \times 10^{-3} \text{ kW} = 8,81 \times 10^{-3} \text{ Hp}$$

Aplicada la relación Hp/ diámetro de taza se obtuvo que:

$$D = 1,1 \sqrt[0,25]{8,81 \times 10^{-3}} \text{ pies}$$

$$D = 0,34 \text{ pies} = 4,08 \text{ pulg}$$

Con un tiempo de operación de 0,12 horas, los detalles del equipo se muestran:

Tabla AIV. Resultados dimensionamiento chancadoras de cono

Modelo	Voltaje (V)	Potencia (HP)	Capacidad (lb.h-1)	Peso (lbs)
010B-001	220	½	350	220

- *Dimensionamiento de zarandas vibratorias:*

Con una carga circulante del 250 %, la alimentación a cada tamiz sería:

Para Caolín proveniente de Puyo, si $A = 18750 \text{ g}$:

$$C_c = \frac{A+R}{A} \times 100, \text{ entonces } A+R, \text{ sería:}$$

$$A + R = 2,5 \times A = 2,5 \times 18750 \text{ g} = 46875 \text{ g}$$

En un día de operación, la cantidad de flujo másico sería:

$$T = 46875 \frac{g}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24 h} \times \frac{1 kg}{1000 g} = 1,95 \frac{kg}{h} = 1,95 \times 10^{-3} \frac{TM}{h}$$

El área del tamiz sería:

$$A = \frac{T}{k \times a} = \frac{1,95 \times 10^{-3}}{58,954 \times 0,0075} = 4,41 \times 10^{-3} cm^2$$

Se asumió una criba cuadrada, donde $A = L^2$:

$$L = \sqrt{A} = \sqrt{4,41 \times 10^{-3} cm^2} = 0,066 cm$$

Para un tiempo de operación de 0,12 horas, el detalle del equipo se presenta:

Tabla AIV.7. Resultados dimensionamiento zaranda vibratoria

Modelo	Potencia (HP)	Largo criba (pulg)	Ancho criba (pulg)	Peso (lbs)
040D-041	¼	36	24	285

- *Dimensionamiento de mezcladoras de paletas:*

En la mezcladora de paletas, los materiales provenientes del circuito de reducción de tamaño y clasificación, son mezclados junto con la cantidad de agua óptima tanto para pastas de moldeo como juguetes lúdicos. Incluso con el aglomerante producido previamente para las pastas de moldeo; lo resultante a circular por la mezcladora sería una pulpa, con un determinado porcentaje de sólidos, los cálculos de densidad de pulpa, densidad de mezcla y porcentaje de sólidos se muestran:

- 1) Para la producción de pasta de moldeo “blanca”, en un día de operación:

Cantidad de humedad óptima: 30 ml de agua por cada 100 g de muestra.

Por cada 15625 g de mezcla:

$$15625 \text{ g mezcla} \times \frac{30 \text{ cm}^3}{100 \text{ g mezcla}} = 4687,50 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O} = 4687,50 \text{ g H}_2\text{O}$$

El porcentaje de sólidos sería:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{15625 \text{ g}}{15625 \text{ g} + 4687,50 \text{ g}} \times 100 = 77\%$$

Para la densidad de mezcla sólida:

Volumen de caolín proveniente de Puyo:

$$12500 \text{ g} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{2,22 \text{ g}} = 5630,63 \text{ cm}^3$$

Volumen de aglomerante:

$$781,25 \text{ g} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{2,38 \text{ g}} = 328,26 \text{ cm}^3$$

Volumen de carbonato de calcio, cal P-24 de Cecal:

Densidad real: $2,69 \text{ g.cm}^{-3}$.

$$2343,75 \text{ g CaCO}_3 \times \frac{1 \text{ cm}^3}{2,69 \text{ g}} = 871,28 \text{ cm}^3$$

Volumen de mezcla: $6830,17 \text{ cm}^3$

Entonces la densidad de mezcla sólida sería:

$$\text{densidad mezcla} = \frac{\text{masa mezcla}}{\text{volumen mezcla}} = \frac{15625 \text{ g}}{6830,17 \text{ cm}^3} = 2,29 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

La densidad de pulpa para producción de pasta de moldeo blanca sería:

$$\rho_{\text{pulpa}} = \frac{1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{1 - 0,77 \times \frac{2,29 - 1}{2,29}} = 1,77 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

El dimensionamiento de una mezcladora de paletas para producir pasta de moldeado blanca, sería:

Primero la determinación del caudal:

$$Q_v = \frac{0,65 \frac{kg}{h}}{1770 \frac{kg}{m^3}} = 3,68 \times 10^{-4} m^3 \cdot h^{-1}$$

El diámetro mínimo de las paletas sería:

$$3,68 \times 10^{-4} = 3600 \times \pi \times \frac{D_{MIN}^2}{4} \times 0,8 \times D_{MIN} \times 0,15 \times 0,5 \times 1$$

$$D_{MIN} = 0,013 m \rightarrow 1,3 cm$$

La velocidad axial sería:

$$\tan \alpha = \frac{0,8}{\pi}$$

$$v_p = \pi \times 0,013 \times 0,5 = 0,020 m \cdot s^{-1}$$

$$k_p = \frac{0,11 \times 5 \times 0,698}{\frac{\pi \times 0,013}{0,866}} = 6,595$$

$$k_v = 0,6$$

$$v_A = 0,6 \times 6,595 \times 0,020 \times 0,255 = 0,0205 m \cdot s^{-1}$$

La longitud de trabajo, sería:

$$t_R = 120 s$$

$$L_W = 0,0205 \times 120 = 2,46 m$$

El número total de serie de paletas sería:

$$P_N = \frac{2,46 m}{0,11 m} = 22$$

Finalmente, el diámetro total de trabajo sería:

$$S_R = \frac{3,68 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}}{3600 \times 0,0205 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 4,99 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$S_{RF} = \frac{4,99 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{0,6} = 8,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$D_R = 2 \times \sqrt{\frac{8,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{\pi}} = 3,25 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,33 \text{ cm}$$

El equipo a emplearse, sería una mezcladora horizontal de paletas para nivel de laboratorio, un criterio de selección es el volumen de la pulpa a tratar que es de 0,36 pie³, para un homogenizado se requerirá de un tiempo de 30 minutos, es decir 0,5 h, detalles del equipo:

Tabla AIV.8. Resultados dimensionamiento mezcladora de paletas

Número de catálogo	Modelo	Capacidad de trabajo (pie ³)	Capacidad total (pie ³)	Rango HP	Número de paletas	Dimensiones Internas L"xW"xH"	SW (lbs)
080F-020	191	2	3	1.-3	2	12x19x25	400

- *Dimensionamiento de máquinas extrusoras:*

El escalamiento de las máquinas extrusoras se hizo, de forma general, de la siguiente manera (p. 44):

Diámetro de eje: $\phi_{eje} = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$; longitud del eje para tornillo sin fin: $L_{eje} = 340 \text{ mm}$

En la zona de alimentación:

Diámetro de la hélice: $\phi_{H1} = 92 \text{ mm}$

En las zonas de compresión y dosificación:

Diámetro de la hélice: $\phi_{H2-3} = 82 \text{ mm}$; el paso de las hélices en zonas de alimentación y compresión: $Paso_{1-2} = 56,12 \text{ mm}$; el paso de las hélices en la zona de dosificación: $Paso_3 = 112,24 \text{ mm}$; ángulo de la hélice: $\theta = 11^\circ = 0,19 \text{ rad}$; separación entre la camisa y la hélice: $\delta = 0,3 \text{ mm}$; $k = 0,99$; viscosidad (μ) = 100000 Pa.s; Velocidad de giro en la hélice: $\Omega_\theta = 0,33 \text{ s}^{-1}$; esfuerzo cortante inicial: $\tau_0 = 63000 \text{ Pa}$

Radio de eje: $r_{eje} = 0,020 \text{ m}$; radio de hélice en la zona de alimentación: $r_{hélice} = \frac{0,092 \text{ m}}{2} = 0,046 \text{ m}$; radio interior de la camisa: $R = 0,046 \text{ m} + 0,003 \text{ m} = 0,0463 \text{ m}$; número de espirales: 5,5.; número de vueltas: $n = \frac{5,5}{2} = 2,75$

Con estos datos, la potencia del motor de las extrusoras sería:

$$P = 0,33 \times \frac{3 \times 100000 \times 0,33 \times 0,99}{0,99 - \frac{1}{0,99}} + 63000 \times \frac{4 \times 2,75 \times \pi \times \frac{0,0463^2}{2} - 0,0463 \times 0,020}{\cos 0,19} \times 0,046 = 374,97 \text{ W} = 1,6 \text{ HP}$$

Si el motor fuera trifásico, la corriente del motor sería:

$$I = \frac{374,97 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V} \times 0,86} = 1,37 \text{ A}$$

Para producción de pasta de modelado blanca, terracota y juguetes lúdicos, el equipo a emplear es una extrusora a escala de laboratorio china para trabajar con flujos máxicos de $0,65 \text{ kg.h}^{-1}$ para las pastas de moldeo y de $1,04 \text{ kg.h}^{-1}$ para juguetes lúdicos, con un tiempo de operación de 30 minutos, es decir 0,5 h; el equipo seleccionado es el siguiente:

Tabla AIV.9. Resultados dimensionamiento máquina extrusora

Tipo	Serie	D (mm)	L/D	n (r/min)	P (kW)	T (N.m)	Q (kg.h ⁻¹)
SJH-20	A	21,7	32	1.-3	2	30	400

- *Dimensionamiento de emparadoras horizontales tipo Flow Pack:*

Este equipo, sería utilizado para empaclado de las pastas de moldeo, se consideraron los siguientes datos:

Dimensiones de cada pasta: 12,5 x 8,0 x 3,5 cm; de acuerdo a este dato, la longitud del rodillo alimentador de la envoltura de polipropileno flexible reforzada de aluminio, con un espacio de holgura por arista de 0,50 cm y 1 cm para el primer sellado, sería: 26 cm. Relación rodillo/ancho empacadora: 0,67; relación rodillo/altura del rodillo: 0,18 relación rodillo/longitud de la empacadora: 0,15; relación rodillo/altura de la banda transportadora: 0,33. Las dimensiones entonces serían:

$$\text{Ancho empacadora} = \frac{30 \text{ cm}}{0,67} = 45 \text{ cm} \quad ; \quad \text{Altura del rodillo} = \frac{30 \text{ cm}}{0,18} = 170 \text{ cm} \quad ;$$

$$\text{Longitud de la empacadora} = \frac{30 \text{ cm}}{0,15} = 200 \text{ cm};$$

$$\text{Altura de la banda transportadora} = \frac{30 \text{ cm}}{0,33} = 90 \text{ cm}$$

Para empacado de las pastas de moldeo tanto blanca como terracota con un tiempo de operación de 0,012 horas se tiene el equipo a escala de laboratorio:

Tabla AIV.10. Resultados dimensionamiento empacadora horizontal

Tipo	Ancho de film (mm)	Diametro de film (mm)	Longitud de funda (mm)	Ancho de funda (mm)	Altura de producto (mm)	Velocidad de empacado fundas.min ⁻¹	P (kW)
KCX-250B	250	320	65	30	40	40	2.4
Dimensiones Internas LxWxH (mm)							
3770x670x1450							

- *Dimensionamiento de horno para quemar de piezas de cerámica roja:*

Cantidad de piezas a quemar en un día: 1925 unidades

$$\text{Volumen a ocupar en la cámara de quemado: } V = 1925 \times 8,4 \text{ cm}^3 = 16170 \text{ cm}^3$$

Para este propósito, se calculó mediante el volumen unitario por el número de piezas a quemar, las dimensiones a ocupar de la columna de juguetes, se consideró cúbica, entonces:

$$L = \sqrt[3]{16170 \text{ cm}^3} = 25 \text{ cm}$$

Volumen libre de la cámara de quemado:

En la cámara de quemado se requiere un volumen libre, esto con la finalidad de que los gases procedentes de las reacciones a altas temperaturas se liberen y ayuden con el incremento de temperatura dentro de la cámara, esto ahorraría energía eléctrica durante la quema en sí. Puesto que las muflas de tipo eléctrico tienen un automatismo de control del tipo solenoide, que mantiene la temperatura en la cámara de quema de acuerdo a que se dispone, en este caso, sería de 850 °C. Con un 10 % de volumen libre, el volumen de la cámara de quemado sería:

$$V_T = 16170 \text{ cm}^3 \times 1,1 = 17787 \text{ cm}^3$$

La dimensión final de la arista en la pared de la cámara sería:

$$L = \sqrt[3]{17787 \text{ cm}^3} = 26 \text{ cm}$$

Entonces las dimensiones serían:

Paredes frontal y trasera: 26 x 26 cm

Paredes laterales, superior e inferior: 26 x 26 cm

El horno de mufla a dimensionar, tendría unas paredes de material refractario, de 3 pulgadas de espesor, de las cuales se dividen de la siguiente manera:

Primer material: tabla de fibra cerámica refractaria; espesor: 2 pulgadas; conductividad térmica: $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Segundo material: tabla de fibra cerámica refractaria; espesor: 1 pulgada; conductividad térmica: $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Tercer material: colchoneta de fibra cerámica refractaria; espesor: 2 pulgadas; conductividad térmica: $0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Con todos estos datos y los resultados del balance de masas que se encuentran en la tabla AVII del ANEXO VII, el calor sensible para el incremento de temperaturas de ambiente hasta evaporación sería:

$$Q_1 = 7,87 \text{ kg} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 100 - 20 \text{ K} = 2643,76 \text{ kJ}$$

Calor latente de evaporación:

$$Q_2 = 7,87 \text{ kg} \times 2676,1 - 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 17759,27 \text{ kJ}$$

Calor necesario para elevar la temperatura de las piezas cerámicas desde temperatura ambiente $T^\infty = 20 \text{ °C}$, hasta la temperatura de sinterización óptima, $T_s = 850 \text{ °C}$:

$$Q_3 = 32,5 \text{ kg} \times 0,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 850 - 20 \text{ K} = 20231,25 \text{ kJ}$$

Entonces la energía total para quemar 1 kg de ladrillo, sería:

$$Q_{TOTAL} = 2643,76 \text{ kJ} + 17759,27 \text{ kJ} + 20231,25 \text{ kJ} = 40634,28 \text{ kJ}$$

Determinación de pérdidas:

$$\text{El área total sería: } A = 6 \times 26 \text{ cm} \times 26 \text{ cm} = 4056 \text{ cm}^2 = 0,41 \text{ m}^2$$

Pérdidas en las paredes:

Resistencia térmica:

$$R_T = \frac{L_1}{k_1 \times A} + \frac{L_2}{k_2 \times A} + \frac{L_3}{k_3 \times A} = \frac{0,0508 \text{ m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \times 0,41 \text{ m}^2} + \frac{0,0254 \text{ m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \times 0,41 \text{ m}^2} + \frac{0,0508 \text{ m}}{0,18 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \times 0,41 \text{ m}^2} = 1,78 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Pérdidas en las paredes planas:

$$q = \frac{850 - 20 \text{ K}}{1,78 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 466,29 \text{ W}$$

La potencia del horno sería de 466,29 watts; para efectos de cálculo se considerará una potencia de 500 watts; a partir de la ley de Ohm, para un voltaje de alimentación de 120 V, la corriente sería:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 4,17 \text{ A}$$

Para un tiempo de cocción de 6 horas a 850 °C, el equipo a emplearse se detalla:

Tabla AIV.11. Resultados dimensionamiento horno mufla

Número de catálogo	Modelo	Tamaño de la Cámara W" H" D"	Voltaje (V)	Corriente (A)	Temperatura máxima ° C	Puerta	Peso (lbs)
090D-038	420	14 14 14	240	22,9	1093	Costado	225

ANEXO VI

ANÁLISIS OPERATIVO Y ECONÓMICO DEL PROYECTO

Tabla AV.1. Días laborables para el proyecto

Feriados: Día del trabajo, Navidad y Año Nuevo										
Mes \ Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	21	22	21	20	22	22	22	22	20	21
Febrero	20	20	20	21	20	20	20	20	20	20
Marzo	21	21	22	23	23	22	21	22	23	23
Abril	22	22	22	21	20	21	22	22	22	21
Mayo	22	21	20	22	23	22	23	21	21	22
Junio	20	21	22	22	22	21	20	22	22	22
Julio	23	23	23	21	21	22	23	23	22	21
Agosto	22	21	21	23	23	23	22	21	22	23
Septiembre	21	22	22	22	21	20	21	22	22	22
Octubre	23	23	22	21	22	23	23	22	21	21
Noviembre	21	20	21	22	22	22	22	21	22	22
Diciembre	19	21	21	22	21	19	20	21	22	22
Total Días	255	257	257	260	260	257	259	259	259	260

Tabla AV.2. Balance de masas para la generación de aglomerantes de celulosa

En un día de operación							
Aglomerante pasta de moldeo Blanca				Aglomerante pasta de moldeo Terracota			
Densidad solución CaCO ₃ : 1 [g/cm ³]		Densidad agua: 1 [g/cm ³]		Densidad solución CaCO ₃ : 1 [g/cm ³]		Densidad agua: 1 [g/cm ³]	
		Cantidad	Unidad			Cantidad	Unidad
Materias primas	Papel celeste	781,25	[g]	Materias primas	Papel color blanco	781,25	[g]
	CaCO ₃	781,25	[g]		CaCO ₃	781,25	[g]
	Agua	7031,25	[cm ³]		Agua	7031,25	[cm ³]
7031,25		[g]	7031,25	[g]			
Cantidad de solución		7812,50	[cm ³]	Cantidad de solución		7812,50	[cm ³]
		7812,50	[g]			7812,50	[g]
Porcentaje de sólidos totales		0,20	Tanto por uno	Porcentaje de sólidos totales		0,20	Tanto por uno

Tabla AV.3. Balance de masa para línea de producción en pastas de moldeo blanca y terracota

En un día de Operación						
Pasta de moldeo Blanca				Pasta de moldeo Terracota		
Densidad pasta arcillosa: 2 [g/cm ³]		Densidad agua: 1 [g/cm ³]		Densidad pasta arcillosa: 2 [g/cm ³]		Densidad agua: 1 [g/cm ³]
		Cantidad	Unidad			Cantidad
Materias primas	Caolín Puyo	12500,00	[g]	Materias primas	Caolín Puyo	6250,00 [g]
	CaCO ₃	2343,75	[g]		Arcilla Roja	6250,00 [g]
	Aglomerante	781,25	[g]		CaCO ₃	2343,75 [g]
	Agua	4687,50	[cm ³]		Aglomerante	781,25 [g]
		4687,50	[g]		Agua	4687,50 [cm ³]
Pasta de moldeo		20312,50	[g]	Pasta de moldeo		4687,50 [g]
		10156,25	[cm ³]			20312,50 [g]
Volumen por pasta		350,00	[cm ³]	Volumen por pasta		10156,25 [cm ³]
Número de unidades		29,02		Volumen por pasta		350,00 [cm ³]
Volumen total recalculado		10150,00		Número de unidades		29,02
Volumen de residuo		6,25	[cm ³]	Volumen total recalculado		10150,00
Masa de residuo		12,50	[g]	Volumen de residuo		6,25 [cm ³]
% Pérdidas		0,06	%	Masa de residuo		12,50 [g]
				% Pérdidas		0,06 %

Tabla AV.4. Balance de masas para línea de producción de juguetes lúdicos

En un día de operación			
% Pérdidas por secado: 24,33 %		Densidad pasta arcillosa:	
% Pérdidas totales: 28,48 %		2 g.cm ⁻³	
% Pérdidas a la quema: 4,16 %		Densidad agua: 1 g.cm ⁻³	
		Cantidad	Unidad
Materias primas	Barro "La Victoria	18750,00	(g)
	Arcilla Roja Sigchos	6250,00	(g)
	Agua	7500,00	(cm ³)
		7500,00	(g)
Pasta cerámica		32500,00	(g)
		16250,00	(cm ³)
Volumen por juguete		8,40	(cm ³)
Número total de juguetes		1934,5	
Número de paquetes 35 unidades		55,27	
Número de juguetes recalculado		1925,00	
Restantes		9,52	

Tabla AVI.4. Balance de masas para línea de producción de juguetes lúdicos
(continuación ...)

Volumen de residuo	80,00	(cm ³)
Masa de residuo	160,00	(g)
% Pérdidas	0,49	%
Masa de agua evaporada	7868,32	(g)
Masa perdida en la quema	1342,11	(g)

Tabla AV.5. Balance de masa total de agua para la planta

En un día de operación		
Producción de aglomerante		
	Cantidad	Unidad
Solución CaCO ₃ al 10 %	1562,50	(g)
Masa de agua evaporada	34,68	(g)
Producción pastas de moldeo		
	Cantidad	Unidad
Agua requerida	9375,00	(g)
Producción de juguetes lúdicos		
Agua requerida	7500,00	(g)
Masa de agua evaporada	7868,32	(g)
Cantidad total de agua requerida	18437,50	(g)

Tabla AV.6. Consumo energético de los equipos para producción de pastas de moldeo

En un día de operación			
Pasta de moldeo blanca		Pasta de moldeo terracota	
Equipo	Consumo kW.h⁻¹	Equipo	Consumo kW.h⁻¹
Caja alimentadora	0.04	Caja alimentadora	0,11
Chancadora de mandíbula	0.04	Chancadora de mandíbula	0,11
Chancadora de cono	0.045	Chancadora de cono	0,12
Vibrotamiz	0.022	Vibrotamiz	0,029
Mezcladora de paletas	0.373	Mezcladora de paletas	0,373
Extrusora	1.5	Extrusora	1,5
Empacadora	0.0384	Empacadora	0,0384
Tanque de agitación	4.476	Tanque de agitación	4,476
Estufa	720	Estufa	720
Cortadora	0.5148	Cortadora	0,5148

Tabla AV.7. Consumo energético de los equipos para producción de juguetes lúdicos

En un día de operación	
Equipo	Consumo kW.h⁻¹
Caja alimentadora	0,14
Chancadora de mandíbula	0,14
Chancadora de cono	0,15
Vibrotamiz	0,044
Mezcladora de paletas	0,373
Extrusora	1,5
Horno de mufla	33

Tabla AV.14. Análisis de sensibilidad variación del precio de venta al público, criterio pesimista

	INICIO (USD)	2013 (USD)	2014 (USD)	2015 (USD)	2016 (USD)	2017 (USD)	2018 (USD)	2019 (USD)	2020 (USD)	2021 (USD)	2022 (USD)
Inversión											
Terreno	18 000,00										
Obra civil	752 210,00										
Equipos											
Maquinaria fija	178 769,34										
Medios auxiliares	126 491,08										
Amortización		13 290,50	13 290,50	9 967,88	7 475,91	5 606,93	4 205,20	3 153,90	2 365,42	1 774,07	1 330,55
Costes variables											
Costes de materias primas		795 090,00	801 326,00	801 326,00	810 860,00	810 860,00	801 326,00	807 562,00	807 562,00	807 562,00	810 680,00
Costes de agua		11,97	12,06	12,06	12,21	12,21	12,06	12,16	12,16	12,16	12,21
Costes energéticos		254 988,00	256 987,73	256 987,73	259 987,33	259 987,33	256 987,73	258 987,46	258 987,46	258 987,46	25 9987,33
Costes fijos											
Costes de personal		76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00	76 344,00
Costes de mantenimiento		18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60	18 052,60
Ingresos											
Ventas pasta de moldeo blanca		171 426,20	172 775,28	172 775,28	174 798,90	174 798,90	172 775,28	174 124,36	174 124,36	174 124,36	174 798,90
Ventas pasta de moldeo terracota		169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40	169 657,40
Venta de juguetes lúdicos		59 602,50	60 097,50	60 097,50	60 840,00	60 840,00	60 097,50	60 592,50	60 592,50	60 592,50	60 840,00

