

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTROMECAÁNICA



“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS, APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN, EN LADRILLOS PRODUCIDOS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA PAZ, CON ADITIVOS DE CARBONATO DE LITIO - CASO: YACIMIENTO ARCILLA DE ARANJUEZ”

Postulante: Ing. Ericka Mamani Riveros

Tutor: Dr. Marco Antonio Ruiz Gutiérrez

Tesis de Maestría presentada en cumplimiento de los requisitos para la obtención del
Grado Académico de:

**MAGISTER SCIENTIARUM EN INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELECTROMECAÁNICA**

La Paz – Bolivia

2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

**“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS, APLICADAS A LA
CONSTRUCCIÓN, EN LADRILLOS PRODUCIDOS DE SUELOS ARCILLOSOS DE
LA PAZ, CON ADITIVOS DE CARBONATO DE LITIO - CASO: YACIMIENTO
ARCILLA DE ARANJUEZ”**

Por

Ericka Mamani Riveros

Presentado y revisado ante el Tribunal de Grado Académico

APROBADO:

Dr. Marco Antonio Ruiz Gutiérrez
Asesor de Tesis de Maestría

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA - ELECTROMECAÁNICA
LA PAZ - BOLIVIA
AGOSTO 2023

“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS, APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN, EN LADRILLOS PRODUCIDOS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA PAZ, CON ADITIVOS DE CARBONATO DE LITIO - CASO YACIMIENTO ARCILLA DE ARANJUEZ”

Por

Ericka Mamani Riveros

Presentado y revisado ante el Tribunal de Grado Académico

APROBADO POR:

MSc. Ing. Luis Ramiro Arce Salcedo

MSc. Ing. Alejandro Mayori Machicao

MSc. Ing. Jaime Sánchez Guzmán

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA - ELECTROMECAÁNICA
LA PAZ - BOLIVIA
AGOSTO 2023

RESUMEN

La presente tesis realiza un estudio descriptivo de las características de la cerámica para ladrillos, modificada mediante la adición de carbonato de litio.

Se caracterizan probetas de arcilla para la elaboración de ladrillos, realizándolas con variaciones de composición de carbonato de litio producido en Bolivia, arcilla de la zona de Aranjuez de la ciudad de La Paz y la temperatura de cocción a la que son sometidas.

En una primera fase las probetas caracterizadas fueron enviadas a la Universidad de Kyoto en Japón para ser evaluadas cristalográficamente, los resultados de este estudio muestran que la angulosidad y densidad de los cristales mejoran como efecto del carbonato de litio y temperatura de cocción.

En una segunda fase, mediante el diseño experimental planteado se evaluó como variable de salida la resistencia a la compresión de los especímenes caracterizados cuyas variables de entrada son el contenido de carbonato de litio y la temperatura de cocción, los resultados muestran que la resistencia a la compresión mejora y los valores obtenidos son mayores a los requerimientos especificados por la Normativa Boliviana.

DEDICATORIA

*A Dios por darme la fuerza necesaria
para permitirme cumplir una meta más.*

*A mis padres por su afecto, apoyo,
comprensión, educación y dedicación.*

A mi familia amada.

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi agradecimiento y reconocimiento a la carrera de Ingeniería Mecánica y Electromecánica, por la formación académica recibida en sus aulas.

Al Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas IIME por su colaboración brindando sus ambientes para la elaboración de las probetas.

A la Lic. Mónica Dávalos, responsable del Área de Cerámicas de la Carrera de Artes de la UMSA por todos sus aportes en el planteamiento de la presente investigación y su colaboración brindando el acceso a los hornos para la cocción de las probetas.

Al Dr. Hazuyuki Hirao de la Universidad de Kyoto por su colaboración en el estudio cristalográfico.

A mi asesor Dr. Ing. Marco Antonio Ruiz Gutiérrez por su acertada dirección en la elaboración de esta investigación.

Mi agradecimiento a cada uno de los profesionales del tribunal de grado MSc. Ing. Luis Ramiro Arce Salcedo, MSc. Ing. Alejandro Mayori Machicao y MSc. Ing. Jaime Sánchez Guzmán por cada uno de sus aportes en todas las etapas del proceso de la elaboración esta investigación.

Al ingeniero Carlos Rodríguez por su apoyo incondicional e invaluable colaboración en todas las etapas de esta investigación.

Ericka Mamani Riveros

Invierno 2023

ÍNDICE

RESUMEN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
CAPÍTULO 1	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. Parámetros de Estudio	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. LÍMITES Y ALCANCES	4
1.6. JUSTIFICACIÓN	6
1.6.1. Originalidad	6
1.6.2. Pertinencia	6
1.6.3. Relevancia	7
1.6.4. Interés	7
1.6.5. Factibilidad y viabilidad	7
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	8
CAPÍTULO 2	10
FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1. Carbonato de Litio	10

2.2. Carbonato de Litio en Bolivia	12
2.3. Arcilla	14
2.4. Angulosidad	15
2.5. Carbonato de litio: Li_2CO_3 como fundente	16
CAPÍTULO 3	17
DISEÑO EXPERIMENTAL	17
2.6. PLANTEAMIENTO DEL EXPERIMENTO	17
3.1.1. Materiales utilizados	17
3.1.2. Caracterización de probetas	20
3.1.3. Análisis microscópico	28
3.1.4. Ensayos de compresión	30
3.2. SELECCIÓN DE FACTORES DE ENTRADA	32
3.2.1. Factores de entrada	32
3.3. El porcentaje de Carbonato de Litio Li_2CO_3	32
3.4. Temperatura de cocción	33
3.4.1. Factores de salida	33
3.5. FACTORES CONTROLABLES E INCONTROLABLES	34
3.5.1. Factores incontrolables	34
3.5.2. Factores controlables	34
3.6. NÚMERO DE ENSAYOS	34
3.7. Equipos e Instrumentos de medición	35
3.8. Software y diseño experimental	37
CAPÍTULO 4	38
EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	38

4.1. Medición y experimentación	38
4.1.1. Procedimiento sinterizado	38
4.1.2. Procedimiento extruido	40
4.2. Tratamiento de datos	45
4.3. Influencia de factores	46
4.3.1. Factor A: Temperatura de cocción	46
4.3.2. Factor B: Carbonato de litio	49
CAPÍTULO 5	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. Conclusiones	52
5.2. Recomendaciones	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis químico de carbonato de litio (Li_2CO_3) utilizado	18
Tabla 2: Características de arcilla de Aranjuez	19
Tabla 3: Masa de probetas sinterizadas	38
Tabla 4: Dimensiones de probetas sinterizadas	39
Tabla 5: Masas de probetas extruidas.....	40
Tabla 6: Dimensione de las probetas extruidas	41
Tabla 7: Probetas disponibles a ensayar	42
Tabla 8: Resultados del ensayo de compresión simple	44
Tabla 9: Tensión de Rotura.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del precio de la tonelada de carbonato de litio por año	1
Figura 2: Carbonato de litio en polvo (Li_2CO_3)	10
Figura 3: Configuración atómica de arcillas	14
Figura 4: Partículas con diferente angulosidad y redondez	15
Figura 5: Carbonato de litio (Li_2CO_3)	18
Figura 9: Bloques de arcilla	21
Figura 10: Carbonato de litio entregado	21
Figura 11: molienda de arcilla	22
Figura 12: Tamiz y arcilla tamizada	22
Figura 13: Pesaje de arcilla y Li_2CO_3	23
Figura 14: Dosificación de mezclas	23
Figura 15: Mezcla para sinterizado	24
Figura 16: Mezcla y amasado para extrusión	25
Figura 17: Molde de sinterizado	25
Figura 18: Compactado	26
Figura 19: Máquina de extruido y probetas extruidas	26
Figura 20: Secado de probetas extruidas	27
Figura 21: Probetas antes de ser horneadas	27
Figura 22: Probetas caracterizadas	28
Figura 23: Probetas enviadas a Japón	29
Figura 24: Vista aumentada de la probeta E1	29
Figura 25: Producción de probetas para compresión	30
Figura 26: Capineado de probetas	31
Figura 27: Ensayado de probetas	31
Figura 28: Los factores en el proceso	32
Figura 29: Equipo de Compresión Simple – LABOTEC	35
Figura 30: Balanza de precisión	36
Figura 31: Calibrador Kamasa	36
Figura 32: Programa Desing Expert v. 8.0.6	37

Figura 33: Probetas producidas para observación en microscopio	43
Figura 34: Probetas producidas para compactación	43
Figura 35: Ensayo de compresión simple	46
Figura 36: Influencia de la temperatura de cocción a 1100 °C.....	47
Figura 37: Influencia de la temperatura de cocción a 1000 °C.....	47
Figura 38: Influencia de la temperatura de cocción a 900 °C.....	48
Figura 39: Influencia del carbonato de litio añadido 4.8%	49
Figura 40: Influencia del carbonato de litio añadido 3.6%	50
Figura 41: Influencia del carbonato de litio añadido 2.4%	50
Figura 42: Influencia del carbonato de litio añadido 1.2%	51
Figura 43: Influencia del carbonato de litio añadido 0%	51

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

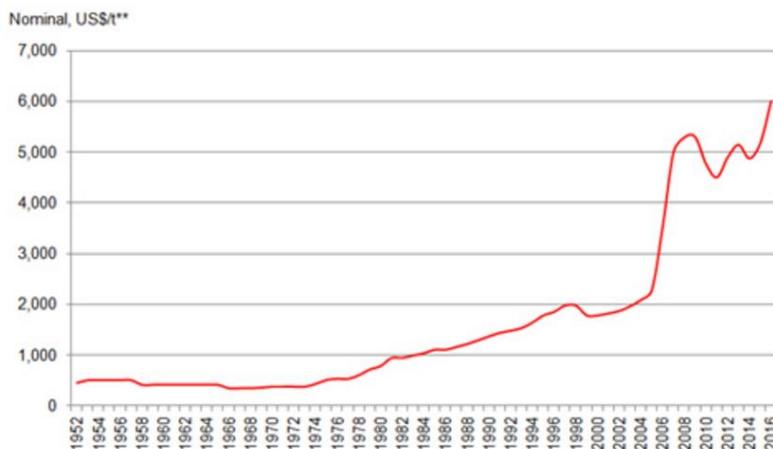
1.1. INTRODUCCIÓN

El litio es un metal alcalino cuyos compuestos tienen diversas aplicaciones, desde el tratamiento farmacológico de pacientes esquizofrénicos, hasta la elaboración de grasas lubricantes de características especiales. Los compuestos de litio actualmente tienen cuatro líneas de investigación en orden de importancia: baterías eléctricas, lubricantes, medicamentos y cerámicas.

A partir del desarrollo de baterías en base a compuestos de litio, es que el precio de este metal y sus minerales se incrementan, provocando un interés mundial para la explotación de yacimientos del mismo. Tal es el aumento de su precio, que el litio ha pasado a conocerse como el “petróleo blanco”.

La figura 1 muestra la evolución de los precios de la tonelada de carbonato de litio en los últimos años.

Figura 1: Evolución del precio de la tonelada de carbonato de litio por año



Fuente: http://www.crugroup.com/about-cru/cruinsight/Lithium-The_Problem_With_Prices

Argentina, Bolivia y Chile conforman lo que se ha denominado “el triángulo del litio” que es una zona geográfica entre las fronteras de estos países que concentra más del 56% de las reservas conocidas de litio del mundo, de acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos, Argentina (con un 15,9%), Bolivia (con un 22%) y Chile (con un 18,3%)¹. Los yacimientos destacados en este “triángulo” son el Salar del Hombre Muerto, Argentina; Salar de Uyuni, Bolivia; y el Salar de Atacama, Chile.

Con estos antecedentes, en 2008 el gobierno boliviano declara como prioridad nacional el Plan de Industrialización de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni y el lanzamiento del Proyecto piloto en la zona del Río Grande, con un presupuesto de 17 millones de dólares americanos, financiado con recursos de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL)².

Para lograr los planes de industrialización citados, se crea la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia (DNRE) para posteriormente inaugurar el Proyecto piloto Llipi Llipi, anunciando una producción de 40 toneladas de carbonato de litio, 80 toneladas métricas de sulfato de potasio y 70 toneladas métricas/mes de cloruro de potasio³.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bolivia es productor de materiales cerámicos destinados al rubro de la construcción ya que posee grandes yacimientos de arcillas, los cuales también son explotados con fines artísticos y decorativos.

El carbonato de litio de baja pureza producido de las reservas del salar de Uyuni en Bolivia, no ha sido aplicado en áreas de producción como las cerámicas, es así que actualmente no se cuenta con estudios ni investigaciones sobre su aplicación en cerámicas, además, el carbonato de litio es un excelente fundente, su adición en la

¹ Agencia de recursos Evaporíticos. <<http://comibol.gob.bo/index.php/24-noticias-inicio/1009-litio>>

² Environmental Justice Atlas. <<https://ejatlas.org/conflict/extraccion-de-litio-en-el-salar-de-uyuni-bolivia>>

³ Environmental Justice Atlas. <<https://ejatlas.org/conflict/extraccion-de-litio-en-el-salar-de-uyuni-bolivia>>

fase de amasado del proceso de producción modificaría su estructura, influyendo en la resistencia de compresión y la temperatura de cocción de cerámicas destinadas a la elaboración de ladrillos.

¿Es posible mejorar las propiedades mecánicas de cerámicas para ladrillos de construcción en comparación a las cerámicas para ladrillos convencionales, como efecto de la adición de carbonato de litio de baja pureza en su proceso de fabricación?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La adición de carbonato de litio de baja pureza en la fase de amasado del proceso de producción de ladrillos modificaría su estructura molecular, influyendo así, en la temperatura de cocción y como efecto final en la propiedad de resistencia de compresión de cerámicas destinadas a la elaboración de ladrillos para la construcción.

En las cerámicas para producir ladrillos, la propiedad mecánica de resistencia a compresión mejora y la temperatura de cocción reduce, ambas como efecto de la adición de carbonato de litio de baja pureza en su proceso de fabricación.

1.3.1. Parámetros de Estudio

De acuerdo a las necesidades para el estudio de toman en cuenta las siguientes variables como parámetros de estudio:

- A) Variable independiente: porcentaje de carbonato de litio añadido y Temperatura de cocción
- B) Variable dependiente: Resistencia a la compresión

Para tal efecto se desarrollan ensayos particulares de acuerdo al diseño de los procesos de experimentación para la medición de cada uno de estos parámetros.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de cerámicas para ladrillos de construcción frente a sus similares convencionales como efecto de la adicción de carbonato de litio de baja pureza en su proceso de fabricación.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Fabricar probetas caracterizadas.
- Establecer mediante normativa vigente, el valor máximo de carga a compresión que puede soportar la probeta con aditivos de carbonato de litio.
- Elaborar curvas características de las pruebas realizadas.
- Determinar el beneficio de un ladrillo común en comparación a un ladrillo con carbonato de litio.
- Establecer el modelo experimental de resistencia de compresión en función de sus variables: Temperatura de cocción y Porcentaje de carbonato de litio

1.5. LÍMITES Y ALCANCES

La presente investigación utiliza como materia prima arcilla de la zona de Aranjuez de la ciudad de La Paz.

Se utiliza carbonato de litio de baja pureza es decir de grado comercial, el mismo producido por la Dirección de Recursos Evaporíticos.

Se utiliza las tecnologías estándar de fabricación de ladrillos en nuestro medio, a través de una pequeña extrusora en laboratorio, para la fabricación de probetas de estudio.

Ensayos y características compatibles a apartados de la norma NB-12110001, NB-12110002 y NB-12110003

Como parámetro de comparación de requerimientos mínimos, se utilizan estándares y normativas vigentes nacionales del rubro de la construcción NB-12110001.

Se utiliza como parámetro de comparación la probeta fabricada con 0% de Carbonato de Litio en las diferentes temperaturas de cocción.

Las variables: temperatura de amasado, humedad del medio ambiente, viento, presión de extrusión no son sujeto de estudio en este trabajo, ya que afectan en la misma magnitud a todos los especímenes fabricados.

El carbonato de litio es añadido gradualmente en porcentajes de 0 a 4.8% en intervalos de 1.2%, es decir: 1.2%, 2.4%, 3.6% y 4.8%.

La cocción de las probetas se realiza a cinco diferentes temperaturas para las probetas destinadas a cristalografía y a tres temperaturas para para las probetas destinadas a los ensayos de resistencia a compresión, su cocción se realiza en hornos de cocción de piezas cerámicas.

Se llega hasta procesos de prueba prototipo ya que no existen investigaciones similares.

Se realiza la medición de 2 propiedades mecánicas requeridos por la norma vigente: la resistencia a compresión y la absorción de agua. Mediante la prueba mecánica de resistencia a la compresión 15 especímenes y prueba de absorción de agua a 6 especímenes.

Se utiliza maquinas existentes en la Universidad Mayor de San Andrés, en los ambientes del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME), del área de cerámicas de la Carrera de Artes y el servicio de ensayos del Laboratorio Técnico de Construcciones (LABOTEC).

1.6. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad Bolivia se ha constituido en un importante productor de materiales cerámicos, principalmente elaborados para la construcción y con fines decorativos y artísticos. Grandes y pequeñas empresas abastecen el mercado interno siendo su principal producto ladrillos, algunas de ellas inclusive exportan su producción a países vecinos.

En este sentido, la presente investigación plantea una alternativa a la producción tradicional de ladrillos cerámicos, mediante la adición de carbonato de litio en el proceso de amasado. El carbonato de litio a utilizarse será de grado comercial, sin exigencias de alta pureza, vale decir, tal cual se produce en la actualidad en la planta piloto localizada en Uyuni y dependiente de la Dirección de Recursos Evaporíticos, COMIBOL.⁴

1.6.1. Originalidad

El carbonato de litio producido de las reservas del Salar de Uyuni en Bolivia, no ha sido aplicado en áreas de producción no tradicionales como las cerámicas; además, se sabe que el carbonato de litio es un excelente fundente.⁵ Al no existir antecedentes sobre su aplicación en cerámicas en Bolivia, los resultados de la investigación sobre la influencia del carbonato de litio de baja pureza en la resistencia de compresión y la temperatura de cocción de cerámicas destinadas a la elaboración de ladrillos podrían ser útiles a la industria ladrillera.

1.6.2. Pertinencia

La presente investigación es pertinente debido a que busca una aplicación alternativa del uso del carbonato de litio de baja pureza ofertado por parte de Recursos Evaporíticos, en un sector de gran crecimiento como lo es la industria de

⁴ www.tecnologiaslimpias.org

⁵ Vielhaber, L. (2002). *Tecnología de los esmaltes*. Barcelona: Reverte

cerámicas para la construcción, proporcionando así, la posibilidad de ofrecer un producto de propiedades mecánicas mejoradas.

1.6.3. Relevancia

Al no existir mayores estudios sobre la aplicación del carbonato de litio de baja pureza en cerámicas, es relevante llevar a cabo esta investigación como futura referencia de investigadores, proyectistas y fabricantes de cerámicas aprovechando los resultados de la mejora de las propiedades.

Los resultados brindarían una nueva aplicación del carbonato de litio de baja pureza, la misma que, no sólo impulsaría la industria nacional de cerámicas sino también la exportación de sus productos.

1.6.4. Interés

La presente investigación es de gran interés ya que muestra el comportamiento de cerámicas, producidas con arcillas de la región paceña de Aranjuez y Carbonato de Litio de baja pureza del Salar de Uyuni.

El ahorro energético al reducir la temperatura de cocción, permitirá a la industria nacional disminuir sus costos de producción, brindándole de este modo la posibilidad de posicionarse a nivel internacional, por otro lado, la demanda de producción de carbonato de litio de baja pureza aumentará.

1.6.5. Factibilidad y viabilidad

La Gerencia de Recursos Evaporíticos, en convenio con La Universidad Mayor de San Andrés, en una alianza estratégica con el fin de encontrar aplicaciones del carbonato de litio producido en el país, ha colaborado en la investigación, brindando una muestra de 5 kg de carbonato de litio boliviano.

Por otra parte, la Universidad Mayor de San Andrés ha brindado los instrumentos de medición y ambientes del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas ubicado en la zona de Cota Cota de la ciudad de La Paz.

La arcilla ha sido seleccionada por la Lic. Mónica Dávalos, responsable del área de cerámicas de la Carrera de Artes de la UMSA, toda vez que sus características fueron estudiadas en la tesis de pregrado⁶ de la licenciada; la muestra se ha extraído de una veta de arcilla ubicada en la zona de Aranjuez de la ciudad de La Paz.

Como apoyo adicional, la Universidad de Kyoto ha proporcionado el estudio cristalográfico mediante el uso de un microscopio de barrido JEOL JMS-6705F en Japón a cargo del Dr. Hazuyuki Hirao.

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación es aplicada al relacionar la variable dependiente resistencia a la compresión en función de la variable independiente que es la cantidad de carbonato de litio y la temperatura de cocción.

Se debe proceder a la fabricación de probetas con variaciones en la variable independiente, divididos básicamente en dos grupos: ladrillos con aditivos de carbonato de litio y ladrillos sin aditivos de carbonato de litio, manteniendo los otros parámetros sin variación en cada serie de experimentos.

En la primera fase de la investigación se deberá diseñar un modelo de producción de ladrillos a nivel laboratorio. Esta fase comprenderá los equipos necesarios para la obtención de diferentes tipos de pastas; se deberá diseñar todas las secciones suplementarias del proceso. Las cantidades a producirse no son grandes, por lo que los ambientes necesarios para la investigación tampoco tendrán grandes exigencias.

⁶ Mónica Dávalos Lara, Las Arcillas en La Paz y Cochabamba y su aplicación en la escultura. La Paz. 1997

Paralelamente se debe proceder a la recolección de materia prima, incluyendo el compuesto de litio, a través de la COMIBOL. Gracias a un acuerdo logrado con la DGRE, el grupo investigador ya ha adquirido 2 kg de este material, esperando en el futuro acceder a mayores cantidades según necesidad.

Utilizando los medios anteriores se procederá a la fabricación de una serie de especímenes de laboratorio, basados en criterios de experimentación y estadística, para la resistencia de compresión se utilizará el diseño de experimentación: factorial general del paquete DESING EXPERT, identificando como variables de entrada el porcentaje de carbonato de litio añadido y la temperatura de cocción, y como factor de salida la resistencia de compresión de estos materiales. Se evaluarán los resultados obtenidos, encontrando el modelo de la resistencia de compresión en función a las variables porcentaje de carbonato de litio y temperatura de cocción

Paralelamente se procederá a la caracterización física de estos especímenes. La investigación lógicamente alcanzará sus objetivos referenciado en ensayos adecuados de acuerdo a normativa de las normas bolivianas (IBNORCA NB 121102) para los parámetros tecnológicos de estudio.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Carbonato de Litio

Los carbonatos son sales del ácido carbónico, las sales tienen en común el anión CO_3 y se derivan del ácido carbónico H_2CO_3 . Según el pH están en equilibrio con el bicarbonato y el dióxido de carbono. La mayoría de los carbonatos, aparte de los carbonatos de los metales alcalinos, son poco solubles en agua. Muchos carbonatos son inestables a altas temperaturas y pierden dióxido de carbono mientras se transforman en óxidos.

Según la ficha internacional de seguridad química de la Unión Europea⁷: el carbonato de litio o sal de litio del ácido carbónico o carbonato de litio es un polvo blanco higroscópico (ver figura 2).

Figura 2: Carbonato de litio en polvo (Li_2CO_3)



Fuente: elaboración propia

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y dióxido de carbono. La disolución en agua es una base

⁷ FICHAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD QUIMICA (12 de junio de 2016). L. (2002). Carbonato de litio. Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1101a1200/nspn1109.pdf>

fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva para el aluminio y zinc. Reacciona violentamente con flúor.

El carbonato se puede absorber por inhalación del aerosol o ingestión, la evaporación a 20 °C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización o cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo.

La sustancia irrita los ojos, la piel, y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central y sistemas cardiovascular y gastrointestinal. Se recomienda para su manipulación el uso de guantes protectores, gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria. No se debe comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo con carbonato.

Características principales⁸:

- Densidad: 2110 [kg/m³]
- Masa molar: 73.891 [g/mol]
- Punto de fusión: 996 [K] (723 [°C])
- Punto de ebullición: 1583 [K] (1310 [°C])
- Solubilidad en agua: 1.3 g/100 ml (escasa)

El carbonato de litio es un compuesto que posee diversas aplicaciones en la industria, y es también la materia prima vigente en la industria energética mundial que manufactura baterías y acumuladores en estado sólido de litio-ion y litio-polímero que prestan la función de almacenar energía eléctrica en una considerable gama de artefactos electrónicos grandes y pequeños⁹.

⁸ WIKIPEDIA (12 de junio de 2016). L. (2002). Carbonato de litio. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Carbonato_de_litio

⁹ Kulisef, V.K. Miklushevsky, V. V., Batulya, I.I., 2006 Litio. MISIS. 2006, Moscú - Rusia

Si bien esta aplicación energética actualmente ocupa hasta el 30% de la producción mundial de carbonato de litio^{10 11}, el 70% de la producción de este recurso se está usando en otras aplicaciones industriales¹²:

1. Producción electrolítica de aluminio.
2. Cerámicas, vidrios y materiales de construcción, por ejemplo, sales de litio añadidos al proceso de fraguado de cemento aceleran éste, y mejoran su capacidad para resistir la humedad.
3. Producción de aceites lubricantes, caucho líquido
4. Aleaciones de Al, Mg, Zr, Cu con 2 - 3% de litio, reducen su densidad en un 10%, mejorando también las propiedades mecánicas y disminuyendo la masa general de las piezas hasta en un 20%.
5. Energía atómica: uso de litio en calidad de conductor de calor; en la misma industria, el deuterio y el tritio son reconocidos combustibles en reactores; no existiendo el segundo en estado libre, a diferencia del primero, puede ser obtenido a partir del Li⁶ utilizando reacciones de síntesis.
6. Reducción de la humedad en sistemas industriales de aire acondicionado, utilizando cloruro y bromuro de litio.
7. Hipoclorito de litio, uso como desinfectante, y componente formular en productos de limpieza cotidiana.
8. Fármacos en base a carbonato de litio que son usados en los tratamientos de desórdenes mentales.
9. Síntesis química industrial.

2.2. Carbonato de Litio en Bolivia

Desde 2008, las reservas del litio del salar de Uyuni y de otros salares de Bolivia forman parte del debate internacional sobre la explotación de materias

¹⁰ Garcés Millas, I., La industria del litio en Chile. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antofagasta, Chile.

¹¹ Secretaria de Política Económica y Planificación del Desarrollo. / Complejo Minero, 2011, Litio, Argentina. 2011. 45

¹² Makoto Ayabe, Marco Ruiz, Ericka Mamani. Fascículo de divulgación temas relacionados con la industrialización del litio, 2016, La Paz - Bolivia

primas. La estrategia nacional de industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia tiene tres fases: la explotación del carbonato de litio, la industrialización y la comercialización; y se realizará bajo la Dirección de Recursos Evaporíticos y con financiamiento nacional hasta la producción de baterías¹³.

El gobierno planea además la producción de vehículos eléctricos en el país. Aunque la participación de empresas privadas y transnacionales estaba prevista únicamente para la fase de producción de baterías, se han concretado acuerdos de cooperación en la parte de desarrollo tecnológico. En busca de la oferta óptima, Bolivia negocia con empresas y países varios, entre ellos Irán, Japón, China y Corea del Sur. En marzo de 2012 se firmó un acuerdo con el consorcio surcoreano Kores-Posco para la instalación de una planta piloto de fabricación de cátodos de litio¹⁴; finalmente este acuerdo no llega a concretarse y se termina acreditando a la firma china CAMC el desarrollo tecnológico.

En el mismo periodo 2012 – 2013, técnicos japoneses que realizaban pruebas para la producción piloto de carbonato de litio en el salar de Uyuni indicaron que la obtención de ese elemento químico en la zona era muy compleja, dada la variedad de elementos adicionales existentes dentro de la salmuera.

En 2012 el director de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos declara: “Hasta ahora no tenemos ningún resultado”¹⁵ respecto a la planta piloto de obtención de carbonato de litio.

Dados los antecedentes anteriores y el carácter estratégico de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, la GNRE empieza un manejo más celoso, casi secreto de la información respecto a sus operaciones. Divulgando únicamente en 2015 la obtención de cloruro de potasio y carbonato de litio de baja pureza en las plantas piloto. Por el convenio entre la UMSA y la GNRE se obtiene una muestra de

¹³ Juliana Strobele-Gregor, El proyecto estatal del litio en Bolivia, 2013, La Paz - Bolivia

¹⁴ Juliana Strobele-Gregor, El proyecto estatal del litio en Bolivia, 2013, La Paz - Bolivia

¹⁵ Jimena Paredes: «Japón afirma que extraer litio del salar de Uyuni es complejo» en La Razón, 12/8/2012, disponible en <www.la-razon.com/economia/Japon-afirma-extraer-Uyuni-complejo_0_1667233364.html>.

carbonato de baja pureza cuya ficha técnica (ver Anexo 2) especifica su composición.

A partir de estos antecedentes se propone este proyecto de uso del carbonato de litio de baja pureza en alguna aplicación industrial.

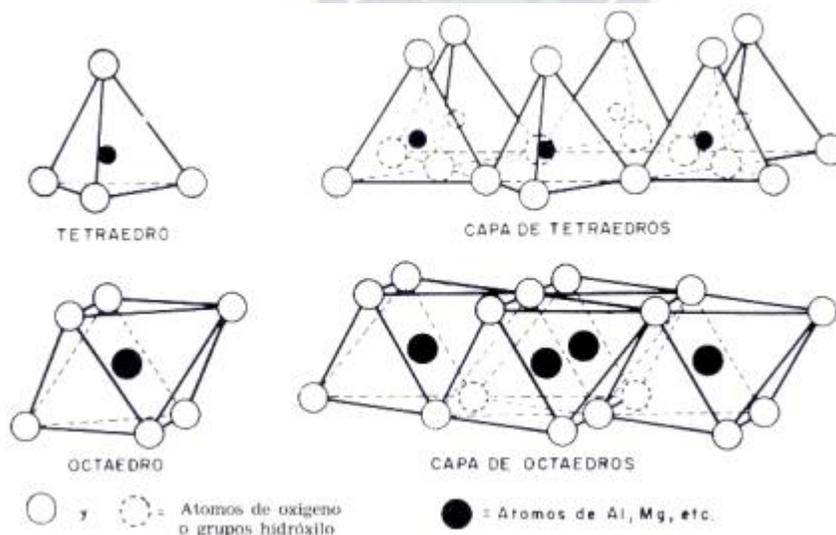
Finalmente, a mediados de 2016, la GNRE anuncia la obtención de carbonato con grado de pureza para baterías en la planta piloto.

2.3. Arcilla

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Físicamente la arcilla se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y una superficie lisa.

Las unidades fundamentales de las arcillas son cristales planos, con silicatos de Al, Fe, Mg. Existen dos configuraciones atómicas posibles, tetraedro y octaedro (ver figura 3), que forman los distintos minerales de arcilla:

Figura 3: Configuración atómica de arcillas



Fuente: <http://uningenierocivil.blogspot.com>

Fuerzas superficiales de las arcillas, Las caras de las partículas de arcilla tienen carga negativa debido a:

- Enlaces rotos de los bordes
- Sustitución de átomos por otros de menor valencia (Si por Clasificación de suelos y propiedades índice AI, Al por Mg o Fe)

Cuanto más chico son las partículas (mayor superficie específica), las fuerzas eléctricas aumentan en relación al peso.

La arcilla se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aun es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales. También se utiliza en procesos industriales, tales como en la elaboración del papel, producción de cemento y procesos químicos.

2.4. Angulosidad

La angulosidad es la medida de la agudeza de los vértices de una partícula. La figura 4 muestra algunos ejemplos de cantos de diferente angulosidad, desde el caso de bordes. agudos y cortantes, hasta una redondez que se aproxima a la esférica.

Figura 4: Partículas con diferente angulosidad y redondez



Fuente: <http://uningenierocivil.blogspot.com>

Dentro de estos dos grandes grupos se pueden encontrar: partículas regulares, elongadas o agujas y planas o lajas. Las partículas regulares son las que tienen sus tres dimensiones similares, Las lajas o planas son partículas con una dimensión notablemente menor a las otras dos; las agujas o elongadas son partículas alargadas, con una dimensión muy superior a las otras dos.

Las partículas planas o elongadas pueden romperse con facilidad durante la compactación debido a que una laja o aguja puede apoyarse sobre otras dos partículas cortas dejando un vacío, y como es lógico, al estar colocada según su forma horizontalmente, donde tienen menor resistencia, una excesiva presencia de las mismas puede provocar, una disminución de la resistencia a la flexión. Adicionalmente las partículas de estas formas son difíciles de mover puesto que se traban reduciendo notablemente su trabajabilidad¹⁶.

2.5. Carbonato de litio: Li_2CO_3 como fundente

El carbonato de litio es un fundente excelente que se utiliza para introducir Li_2O en el esmalte. Sin embargo, su uso queda limitado a algunos casos especiales en los que se trate de obtener esmaltes muy fáciles de fundir, como, por ejemplo, los esmaltes para aluminio. El fluoruro de litio (LiF) posee una acción fundente aún mejor.¹⁷

¹⁶ Mora, D. (2002). *Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso*. Cuenca: Ecuador

¹⁷ Vielhaber, L. (2002). *Tecnología de los esmaltes*. Barcelona: Reverte

CAPÍTULO 3

DISEÑO EXPERIMENTAL

2.6. PLANTEAMIENTO DEL EXPERIMENTO

El experimento centra el análisis de la influencia de aditivos de carbonato de litio en cerámicas para la fabricación de ladrillos con arcilla extraída de yacimientos de Aranjuez en la ciudad de La Paz.

Se caracterizan especímenes a ser ensayados; se realizó una primera producción de probetas que son sometidas a un estudio cristalográfico el cual ha determinado que existen mejoras en la estructura de la arcilla, mediante la observación en microscopio de barrido con el fin de brindar un resultado acerca de las mejoras en los mismos, ya que no existe bibliografía respecto a las arcillas de construcción. Se utiliza una arcilla seleccionada por la jefa del departamento de cerámicas de la carrera de artes de la UMSA.

Posteriormente se realizó una segunda producción de probetas las cuales se han sometido al ensayo de compresión simple, cumpliendo los requerimientos de la Norma Boliviana para ladrillos cerámicos.

La investigación se ha realizado en los predios del IIME en el Laboratorio de Materiales, Universidad de Kioto, el Laboratorio Técnico de Construcción y la Carrera de Artes.

Se ha realizado la producción de especímenes para la experimentación en tres ocasiones en los meses de diciembre de 2015 y agosto de 2016.

3.1.1. Materiales utilizados

La presente investigación se realiza con arcilla apta para la fabricación de ladrillos a la que se le añade gradualmente un aditivo producido en Bolivia por la

GNRE, el carbonato de litio de baja pureza (ve figura 5), que no es apto para la producción de baterías, ya que no cumple con la pureza requerida.

Figura 5: Carbonato de litio (Li_2CO_3)



Fuente: elaboración propia

El carbonato de litio utilizado es proporcionado por la gerencia de recursos Evaporíticos de Bolivia (ver anexo 1), esta institución ha brindado 5 kilos con las características químicas especificadas en la Tabla 1 al momento de la entrega (ver anexo 2).

Tabla 1: Análisis químico de carbonato de litio (Li_2CO_3) utilizado

COD LAB	Muestra	CONCENTRACION DE CRISTAL [% peso]											(*) VS VH	Observaciones	
		Li	Mg	K	Na	Ca	SO ₄	Cl	B	CO ₃	OH	Humedad			SI
43-V-C	LiCO ₃ Oficina	18,025	0,0252	0,097	1,061	0,005	0,539	1,322	-	78,78		15,66		VS	

Fuente: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos-Laboratorio Químico

El otro material base para la presente investigación es la arcilla, la misma debe ser apta para la producción de ladrillos, la muestra utilizada proviene de una veta ubicada en la zona de Aranjuez (ver Figura 7), de la cual se conocen sus

propiedades químicas mostradas en la Tabla 2 extraída de una investigación de arcillas en la región de La Paz y Cochabamba¹⁸

Tabla 2: Características de arcilla de Aranjuez

ANÁLISIS QUÍMICO DE ARCILLAS DE LA PAZ

MUESTRA	No	OXIDOS PRINCIPALES					VOLATILES					TOTAL	EA	MS
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cl-	SO ₃	LOI			
CANAVIRI	1	71.36	14.35	6.25	0.09	0.26	2.41	0.60	0.004	0.03	4.17	99.544	2.19	3.46
CHOJNAPUJYO	6	71.99	11.99	4.29	0.26	0.24	2.19	1.01	0.023	0.15	3.13	95.273	2.45	4.42
TIAHUANACU	8	65.32	16.93	5.60	0.11	0.33	3.19	0.94	0.007	0.03	4.74	97.197	3.04	2.90
TIAHUANACU	9	69.89	15.17	5.56	0.13	0.28	2.81	0.75	0.004	0.15	4.08	96.824	2.60	3.37
ARANJUEZ	26	70.55	14.57	4.96	0.11	0.36	2.74	0.81	0.004	0.04	3.81	97.954	2.61	3.61
MALLASA	27	70.56	14.89	6.59	0.25	0.55	2.69	0.85	0.003	0.01	0.36	96.753	2.62	3.26
ALPACOMA	28	69.89	14.84	5.36	0.20	0.33	2.60	0.77	0.001	0.13	5.24	99.361	2.48	3.46
CHILLO PUCARANI	30	71.45	15.04	4.70	0.05	0.26	2.92	1.00	0.002	0.11	0.88	96.412	2.92	3.62
PASA BLANCA	-	56.90	22.20	7.52	0.17	0.52	3.78	0.66	0.009	0.18	7.40	99.339	3.15	1.91
PASA VERDE	-	65.23	17.17	5.75	0.10	0.36	3.19	0.78	0.009	0.10	4.12	96.829	2.66	2.85

(1) PERDIDA POR CALCINACION

(2) EQUIVALENTE ALCALINO: $0.658 \times K_2O + Na_2O$.

(3) MODULO DE SILICATOS: $SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$

Fuente: Las arcillas en la Paz y Cochabamba y su aplicación en la escultura (tesis)

Dávalos Lara, M. (1997) Universidad Mayor de San Andrés

Figura 7: Ubicación de la veta de arcilla en Aranjuez



Fuente: Google maps

¹⁸ Dávalos Lara, M. (1997). *Las arcillas en la Paz y Cochabamba y su aplicación en la escultura*. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

3.1.2. Caracterización de probetas

La caracterización de probetas de arcilla con aditivos de carbonato de litio se ha realizado en el IIME aplicando dos procedimientos típicos de estudio de materiales, sinterizado y extrusión replicando de manera artesanal la extrusión de ladrillos.

Figura 8: Pasos del proceso de producción de probetas



Fuente: elaboración propia

Recolección de componentes

Se ha realizado la recolección de los dos componentes principales para la fabricación de las probetas de arcillas para ladrillos cerámicos.

La muestra recolectada es de 15 kg de arcilla de la zona de Aranjuez los cuales se extrajeron en bloques para mantener sus características (ver figura 9).

Posteriormente se realizó la recepción de los 5 kilogramos de (Li_2CO_3) carbonato de litio proporcionado por la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (ver Figura 10), éste componente tiene una textura similar a las del almidón.

Figura 6: Bloques de arcilla



Fuente: elaboración propia

Figura 7: Carbonato de litio entregado



Fuente: elaboración propia

Molienda

Los bloques de arcilla recolectados por su tamaño y humedad natural necesitan ser molidos para que la distribución de mezcla entre componentes sea homogénea (ver Figura 11), este proceso se realizó en la Carrera de Artes en el taller de Cerámicas.

Figura 8: molienda de arcilla



Fuente: elaboración propia

Tamizado

La mezcla de componentes debe ser homogénea, se realiza el tamizado en un tamiz #20 de arcilla molida (ver Figura 12) y Li_2CO_3 , este proceso mediante un tamiz de diámetro 0.74 mm.

Figura 9: Tamiz y arcilla tamizada



Fuente: elaboración propia

El mismo proceso se realiza con el carbonato de litio ya que posee granos grandes compuestos de impurezas.

Dosificación de composiciones

Se realizan el pesaje de arcilla y carbonato en porcentajes en masa de 0%, 1.2%, 2.4%, 3.6 y 4.8% (ver Figura 13 y 14).cfr

Figura 10: Pesaje de arcilla y Li_2CO_3



Fuente: elaboración propia

Figura 11: Dosificación de mezclas



Fuente: elaboración propia

Mezcla de componentes y amasado

Posteriormente a tener granos máximos de 0.74 mm de diámetro se continua con la mezcla en cada proceso, tanto como en el de sinterizado como en el de extruido.

En el proceso de sinterizado sólo se realiza la mezcla mecánica de los componentes, no se utiliza agua, se mezcla hasta que los granos de carbonato se dispersen totalmente en la arcilla.

En el proceso de extruido, se realiza el mezclado de carbonato de litio disuelto en agua y se va mezclando con la arcilla, la cual se va agregando hasta llegar a una masa consistente, posteriormente se realiza el amasado hasta conseguir una pasta capaz de ser extruida, la cual se deja madurar por 2 horas para conseguir la penetración de la humedad en cada grano de arcilla (ver Figura 16).

Figura 12: Mezcla para sinterizado



Fuente: elaboración propia

Figura 13: Mezcla y amasado para extrusión



Fuente: elaboración propia

Sinterizado y extrusión

Se producen las probetas mediante ambos procesos

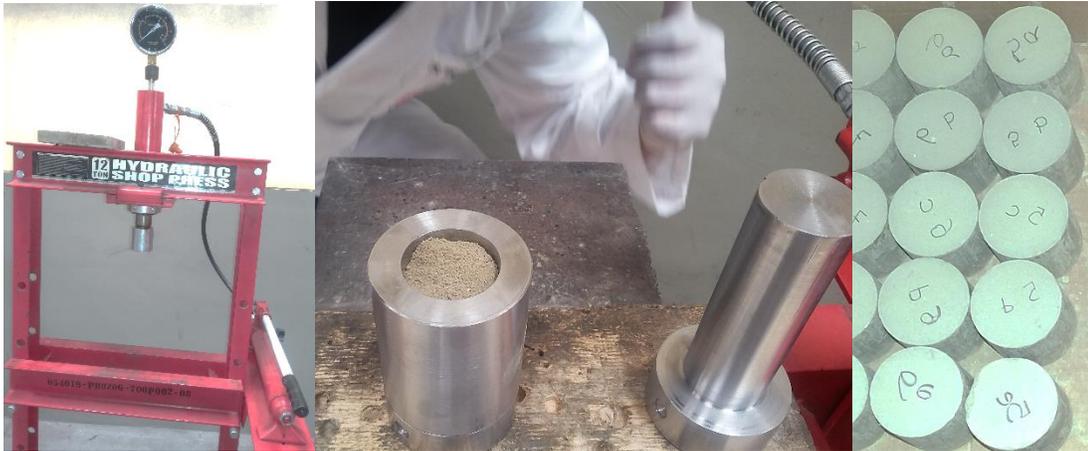
En el sinterizado se utiliza un molde de diámetro 25 mm (ver Figura 17), el mismo es compactado por una carga de 4 ton mediante una prensa hidráulica (ver Figura 18).

Figura 14: Molde de sinterizado



Fuente: elaboración propia

Figura 15: Compactado



Fuente: elaboración propia

En el extruido se utiliza una máquina extrusora de churros la cual genera probetas de 40 mm de diámetro y 8 mm de altura (ver Figura 19).

Figura 16: Máquina de extruido y probetas extruidas



Fuente: elaboración propia

Secado y aireado

Para el proceso de sinterizado es necesario el proceso de aireado donde las probetas deben expulsar el aire retenido al momento de la compactación, esto es de dos días. Por otro lado, para el proceso de extrusión se seca las probetas hasta

que su humedad se iguale a la del medio ambiente durante siete días, se observa que la mayor reducción de humedad ocurre en los primeros dos días

Figura 17: Secado de probetas extruidas



Fuente: elaboración propia

Horneado

Se hornean tanto las probetas sinterizadas como las probetas extruidas (ver Figura 21) a cuatro temperaturas diferentes: 750 °C, 980 °C, 1060 °C y 1100 °C

Figura 18: Probetas antes de ser horneadas



Fuente: elaboración propia

Figura 19: Probetas caracterizadas



Fuente: elaboración propia

Al término de los procesos anteriores se obtuvieron como resultado las probetas caracterizadas listas para ser estudiadas, se puede observar en la figura 22 que existe una relación directa entre el carbonato de litio añadido y la temperatura de cocción en las probetas.

3.1.3. Análisis microscópico

Se utilizó el microscopio electrónico de barrido que es capaz de ofrecer un aumento de x200000 en la imagen, lo que permite apreciar cambios en la microestructura detalladamente de las muestras estudiadas, el estudio se puede explicar cambios en propiedades generales del material de estudio comparando una muestra de arcilla con aditivos con la misma sin ningún aditivo.

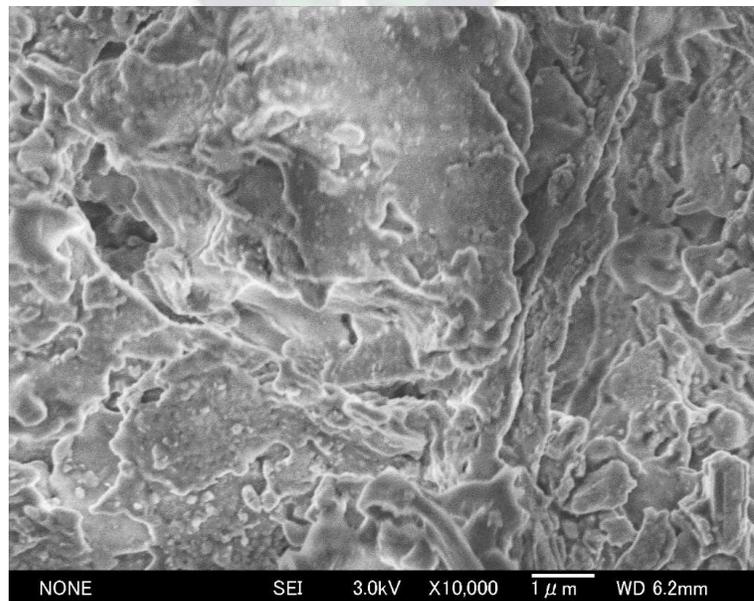
El ensayo se realiza en la universidad de Kyoto, en el laboratorio del profesor Hazuyuki Hirao el mes de agosto de 2016 (ver Figura 23 y 24).

Figura 20: Probetas enviadas a Japón



Fuente: elaboración propia

Figura 21: Vista aumentada de la probeta E1

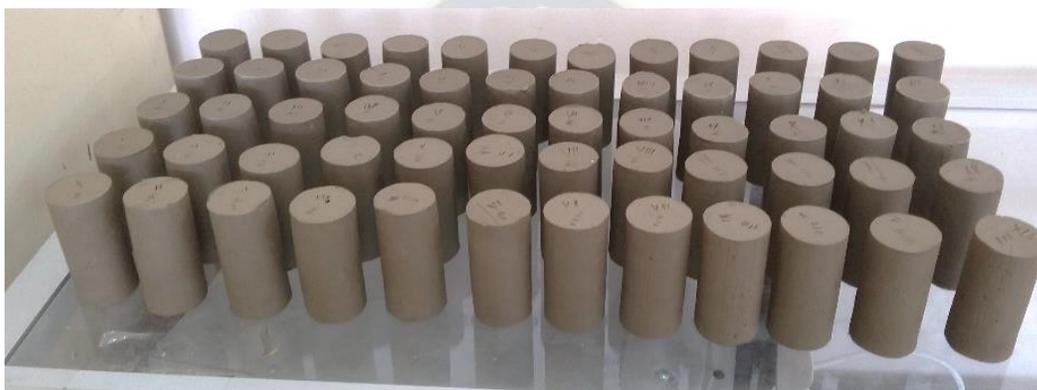


Fuente: Hazuyuki Hirao

3.1.4. Ensayos de compresión

Como resultado del análisis microscópico se evidenció que la influencia del carbonato de litio es mayor en el caso de las probetas extruidas, por esta razón el ensayo de compresión solo se realizó para el caso de las probetas extruidas, para tal ensayo se fabricaron especímenes de dimensione requeridas por el laboratorio, es decir de un alto igual a 3 veces el diámetro (ver Figura 25).

Figura 22: Producción de probetas para compresión



Fuente: elaboración propia

Posteriormente las probetas extruidas son ensayadas a compresión se realizan en la Facultad Técnica en Laboratorio de técnico de Construcción LABOTEC; para este proceso se producen probetas de acuerdo a especificaciones en la norma.

Para el proceso de compresión según especificaciones de la Norma Boliviana para ladrillos es necesario realizar el Capineado de las probetas (ver Figuera 26); proceso que consiste en sumergir en cera las caras de los extremos de probetas con el fin de eliminar las irregularidades de las superficies en contacto con el equipo de compresión.

Figura 23: Capineado de probetas



Fuente: elaboración propia

Posteriormente habiéndose establecido para este ensayo 3 temperaturas de cocción, se ensayó 15 probetas con el equipo de laboratorio en LABOTEC, así se obtiene el esfuerzo de rotura de 5 probetas (con porcentajes de carbonato de litio) para cada una de las nuevas 3 temperatura establecidas.

Figura 24: Ensayado de probetas

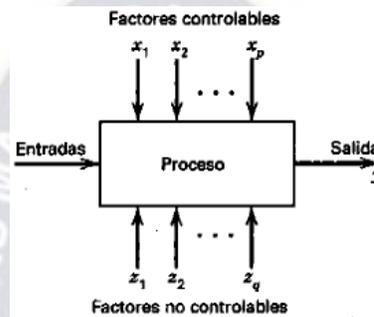


Fuente: elaboración propia

3.2. SELECCIÓN DE FACTORES DE ENTRADA

El diagrama de bloques del diseño experimental se muestra en la Figura 28, de donde se identifica como factores de entrada, a dos factores los cuales son el porcentaje de carbonato de litio “%Li₂CO₃” y la temperatura de cocción “T”, debido a que el interés de esta investigación es ver cómo influyen en la respuesta y la interacción entre ellos.

Figura 25: Los factores en el proceso



Fuente: Montgomery

3.2.1. Factores de entrada

Los factores de entrada son: el porcentaje de carbonato de litio “%Li₂CO₃” y la temperatura de cocción “T”, lo que permite seleccionar un diseño factorial que permite comprender el efecto de dos o más variables independientes respecto de una única variable dependiente, así se es posible realizar el análisis de influencia de cada factor

3.3. El porcentaje de Carbonato de Litio Li₂CO₃

Este factor mejora la microestructura del carbonato de litio, permite la reducción de la densidad de los materiales cerámicos, y modifica los límites de los granos de arcilla, características que influyen en la resistencia a la compresión simple y permite la cocción a una temperatura menor.

El número de niveles para el diseño experimental de este factor es de cinco en un rango de 0% a 4.8% con incrementos de 1.2% (ver Tabla 3).

Tabla 3: Carbonato de litio añadido

PORCENTAJE DE CARBONATO DE LITIO (Li_2CO_3) AÑADIDO	
Nivel	Magnitud [%]
Primer nivel	0
Segundo nivel	1.2
Tercer nivel	2.4
Cuarto nivel	3.6
Quinto nivel	4.8

Fuente: elaboración propia

3.4. Temperatura de cocción

Debido a que no se cuenta con una curva de cocción de arcilla de Aranjuez se establecen 3 temperaturas de cocción (ver Tabla 4) basadas en datos empíricos de la ceramista de la Carrera de Artes quien cuenta con bastantes años de experiencia.

Tabla 4: Temperatura de cocción

TEMPERATURA DE COCCIÓN	
Nivel	Magnitud [°C]
Primer nivel	900
Segundo nivel	1000
Tercer nivel	1100

Fuente: elaboración propia

3.4.1. Factores de salida

Solo se tiene un factor de salida: la resistencia a la compresión simple. Este valor es comparado con los mínimos establecidos para ladrillos en la Norma Boliviana NB 1211002.

3.5. FACTORES CONTROLABLES E INCONTROLABLES

3.5.1. Factores incontrolables

Los factores incontrolables son aquellos que varían en el tiempo y no es posible controlarlos, debiendo ser considerados porque afectan en la respuesta, como ser, la presión de extrusión de las probetas ya que son extruidas de manera manual

Un factor incontrolable es la temperatura de fusión de la arcilla, ya que no se cuenta con equipo para medir este parámetro, para distinguir si la probeta llega a estar cocida, se emiten los siguientes criterios de cocido de la cerámica: no cocido, cocido y quemado de acuerdo a dos características empíricas: sonido y color.

Secado homogéneo de probetas ya que una superficie se encuentra en contacto con el medio ambiente y la otra en una base de vidrio.

3.5.2. Factores controlables

La homogeneidad de la mezcla es un factor controlable ya que se realiza con el mismo equipo para todas las masas y este procedimiento tiene una duración similar para cada caso.

3.6. NÚMERO DE ENSAYOS

El número de ensayos se calcula con la ecuación

$$n = (N)^F * R \quad (1)$$

Donde:

n = Número de Ensayos

N = Número de Niveles

F = Factores

R = Número de Replicas

En este caso se tienen dos factores de distintos niveles y sólo se ha realizado una réplica debido a la disposición de recursos.

$$n = [(5)^1 * (3)^1] * 1$$

$$n = 15 \text{ corridas}$$

La aleatorización en el experimento permite determinar un orden al azar para efectuar la corrida, en este proceso de experimentación donde se controla totalmente las variables de entrada, la variación de las mismas es progresiva en intervalos de 1.2% para el carbonato de litio y 10 C para la temperatura. Además, se ha realizado la caracterización de las probetas en un mismo día.

3.7. Equipos e Instrumentos de medición

Los equipos necesarios para realizar la medición son especificados en la norma NB1211002 para ladrillos de arcilla, para el ensayo de compresión simple es necesario contar con el servicio del equipo de compresión simple de LABOTEC (ver figura 29 y Anexo 3).

Figura 26: Equipo de Compresión Simple – LABOTEC



Fuente: elaboración propia

La medición del peso de cada de una de las probetas se realizó con una balanza de precisión +/- 0.01 (ver Figura 30).

La medición de las dimensiones de cada de una de las probetas se realizó con un calibrador electrónico (ver Figura 31).

Figura 27: Balanza de precisión



Fuente: elaboración propia

Figura 28: Calibrador Kamasa



Fuente: mercadolibre.com

3.8. Software y diseño experimental

Para el tratamiento de datos se utiliza el programa **desing expert v.8.0.6** con capacidad de aleatorización, análisis de influencia y superficie de respuesta (ver Figura 32). Este programa analiza factores mayores a dos niveles.

Figura 29: Programa Desing Expert v. 8.0.6



Fuente: Desing Expert v. 9.0.6

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

4.1. Medición y experimentación

Para la medición y experimentación, las probetas caracterizadas a ensayar se producen mediante dos procedimientos: sinterizado y extruido.

4.1.1. Procedimiento sinterizado

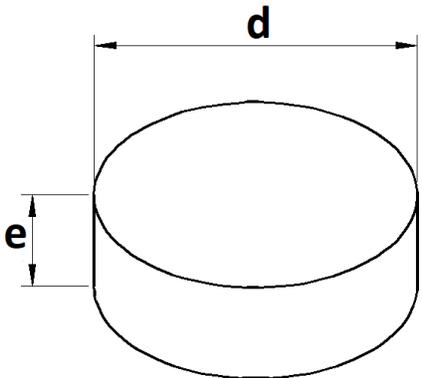
Las probetas producidas mediante el proceso de sinterizado poseían al momento de su extrusión las masas y denominación mostradas en la tabla 3.

Tabla 3: Masa de probetas sinterizadas

MASA DE PROBETAS SINTERIZADAS					
	A	B	C	D	E
	m [g]				
1	14,63	14,65	14,71	14,64	14,70
2	14,65	14,62	14,68	14,63	14,73
3	14,66	14,61	14,68	14,65	14,68
4	14,71	14,65	14,68	14,69	14,68
5	14,67	14,61	14,7	14,68	14,71
6	14,62	14,69	14,74	14,69	14,71
7	14,63	14,66	14,69	14,67	14,65
8	14,71	14,69	14,71	14,65	14,68
9	14,63	14,67	14,66	14,62	14,65
10	14,68	14,68	14,62	14,62	14,68
11	14,7	14,66	14,69	14,66	14,71
12	14,71	14,68	14,67	14,63	14,70
13	14,69	14,58	14,65	14,67	14,69
14	14,62	14,69	14,66	14,63	14,62
15	14,7	14,67	14,68	14,61	14,69
16	14,68	14,67	14,65	14,59	14,70

Fuente: elaboración propia

Tabla 4: Dimensiones de probetas sinterizadas

DIMENSIONES PROBETAS SINTERIZADAS										
										
	A		B		C		D		E	
	d [mm]	e [mm]								
1	30,28	10,36	30,37	10,47	30,32	10,51	30,34	10,56	30,35	10,58
2	30,33	10,41	30,40	10,55	30,30	10,50	30,37	10,50	30,33	10,59
3	30,37	10,47	30,37	10,46	30,34	10,53	30,38	10,56	30,42	10,63
4	30,31	10,47	30,39	10,47	30,34	10,48	30,34	10,63	30,35	10,59
5	30,32	10,41	30,35	10,54	30,35	10,54	30,35	10,63	30,34	10,55
6	30,31	10,45	30,36	10,51	30,29	10,67	30,40	10,57	30,44	10,65
7	30,36	10,45	30,37	10,60	30,31	10,53	30,35	10,55	30,32	10,61
8	30,34	10,52	30,39	10,60	30,33	10,58	30,30	10,59	30,33	10,54
9	30,41	10,44	30,35	10,58	30,33	10,57	30,30	10,63	30,35	10,56
10	30,36	10,56	30,38	10,53	30,36	10,55	30,40	10,61	30,32	10,71
11	30,34	10,46	30,34	10,58	30,35	10,61	30,35	10,58	30,32	10,60
12	30,31	10,58	30,40	10,55	30,34	10,62	30,31	10,62	30,31	10,65
13	30,36	10,55	30,34	10,43	30,41	10,57	30,32	10,61	30,33	10,65
14	30,34	10,51	30,34	10,58	30,38	10,63	30,32	10,48	30,31	10,66
15	30,28	10,56	30,38	10,57	30,38	10,56	30,33	10,53	30,35	10,60
16	30,38	10,34	30,38	10,54	30,35	10,47	30,34	10,52	30,35	10,62

Fuente: elaboración propia

Las probetas después de la compactación cuentan con dimensiones de diámetro y espesor mostrados en la tabla 4, las cuales se midieron con un calibrador electrónico.

4.1.2. Procedimiento extruido

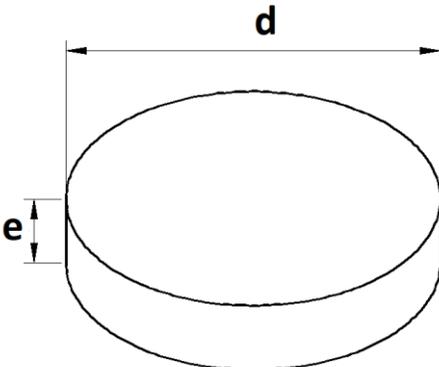
Las probetas extruidas, producidas mediante de una maquina adaptada, al momento de la extrusión dieron los valores de masas y dimensiones mostrados en las tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5: Masas de probetas extruidas

MASA DE PROBETAS EXTRUIDAS					
	A	B	C	D	E
	m [g]				
1	16,20	16,45	15,83	15,29	15,13
2	16,26	15,68	15,02	15,19	15,28
3	15,98	15,65	15,52	15,36	15,01
4	17,20	15,96	15,19	15,57	14,71
5	15,96	16,18	15,27	15,32	15,15
6	16,21	15,32	15,81	15,18	15,30
7	15,95	15,67	15,79	15,32	15,28
8	15,93	15,34	15,40	15,37	14,91
9	16,94	15,32	15,81	15,75	14,70
10	17,00	15,77	15,35	15,44	15,31
11	15,46	16,06	15,85	15,41	14,99
12	17,07	15,68	15,26	15,17	15,07
13			15,65	15,68	15,19
14			15,60	15,43	16,13
15			15,22	14,95	
16				15,44	
17				14,86	

Fuente: elaboración propia

Tabla 6: Dimensione de las probetas extruidas

DIMENSIONES DE PROBETAS EXTRUIDAS										
										
	A		B		C		D		E	
	d [mm]	e [mm]								
1	38,44	7,82	37,60	8,12	37,48	8,00	37,64	8,02	37,63	7,66
2	38,00	8,01	37,72	8,01	37,68	7,76	37,68	7,99	37,82	8,19
3	38,27	7,97	37,59	8,01	37,62	8,08	37,81	7,91	37,69	8,43
4	38,10	8,55	37,53	8,06	37,36	7,79	37,72	8,02	37,44	7,93
5	38,41	7,83	37,71	8,08	37,83	7,71	37,42	8,01	37,94	7,79
6	38,27	7,96	37,70	7,60	37,63	8,17	37,62	8,00	37,65	7,84
7	38,04	7,92	37,49	8,03	37,63	8,14	37,45	7,99	37,33	7,88
8	38,28	7,97	37,90	7,47	37,33	7,90	37,53	7,97	37,06	7,77
9	38,65	8,45	37,85	7,82	37,59	8,05	37,52	8,54	37,88	7,78
10	38,49	8,37	37,96	8,03	37,72	8,16	37,42	7,85	38,06	7,76
11	38,09	7,67	37,73	8,22	38,09	8,06	37,76	7,85	37,76	7,99
12	38,40	8,25	37,40	7,88	37,84	7,80	37,44	8,01	37,60	8,16
13					37,34	7,85	37,33	8,14	37,76	7,97
14					37,56	8,09	37,24	7,85	36,83	8,76
15					37,88	7,79	37,89	7,88		
16							37,53	8,30		
17							37,68	7,73		

Fuente: elaboración propia

Posteriormente a la generación de probetas, se realizó el secado al aire libre durante una semana y se procedió al horneado de las probetas a distintas temperaturas (ver tabla 7).

Las probetas horneadas fueron evaluadas de manera visual ya que algunas en el proceso se cristalizaron, es así que se presentan en la tabla 9 las probetas

que cumplen las características (ver figura 33) para poder ser sometidas al análisis cristalográfico en el microscopio electrónico.

Tabla 7: Probetas disponibles a ensayar

EXTRUIDO T=1100 [°C]						SINTERIZADO T=1100 [°C]					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
10	X	X	X	X	X	10	X	X	X	X	X
11	X	X		X	X	11	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	12	X	X	X	X	X
16	X					16	X	X	X	X	X
EXTRUIDO T=1060 [°C]						SINTERIZADO T=1060 [°C]					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
9	X	X	X	X	X	9	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	8	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	7	X	X	X	X	X
15	X	X				15	X	X	X	X	X
EXTRUIDO T=980 [°C]						SINTERIZADO T=980 [°C]					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
1	X	X	X	X	X	1	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	2	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	3	X	X	X	X	X
13	X	X	X			13	X	X	X	X	X
EXTRUIDO T=750 [°C]						SINTERIZADO T=750 [°C]					
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
4	X	X	X	X	X	4	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	5	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	6	X	X	X	X	X
14	X	X	X			14	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia

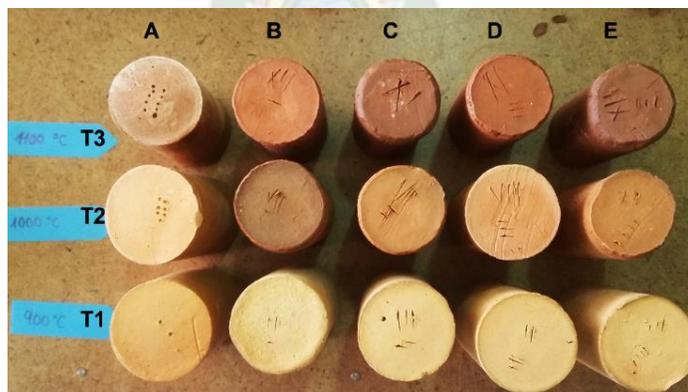
Figura 30: Probetas producidas para observación en microscopio



Fuente: elaboración propia

Después del ensayo cristalográfico se produjo un segundo grupo de probetas en función a requerimiento de la máquina que los ensaya (ver Figura 34), las mismas deben tener las dimensiones de un cilindro donde el alto debe ser el doble del diámetro, debido a las limitaciones en el horneado, se escogieron dimensiones bastantes pequeñas; en la tabla 8 se observan los resultados del ensayo de compactación y la carga de rotura de cada una de las probetas. Debido al factor económico es que únicamente 15 probetas se seleccionan para ser ensayadas.

Figura 31: Probetas producidas para compactación



Fuente: elaboración propia

Posteriormente se realizó el ensayo de compresión simple, éste dio como resultado una carga de rotura, la cual debía ser analizada en función del diámetro de cada una de las probetas. Este resultado en mega pascales se puede observar en la tabla 9 la cual muestra las probetas a ser ensayadas.

Tabla 8: Resultados del ensayo de compresión simple

Probeta	Carga (a 900 °C) [kgf]
A2	680
A3	2420
A4	1690
A5	2310
A6	600

Probeta	Carga (a 1000 °C) [kgf]
A2	1470
A3	2460
A4	4090
A5	2760
A6	1860

Probeta	Carga (a 1100 °C) [kgf]
A2	4790
A3	4210
A4	5200
A5	6380
A6	3700

Fuente: elaboración propia

4.2. Tratamiento de datos

Al finalizar el ensayo de compresión se calcularon las tensiones de compresión de cada probeta en relación a la carga de rotura y el área de cada espécimen descrito en la tabla 9.

Tabla 9: Tensión de Rotura

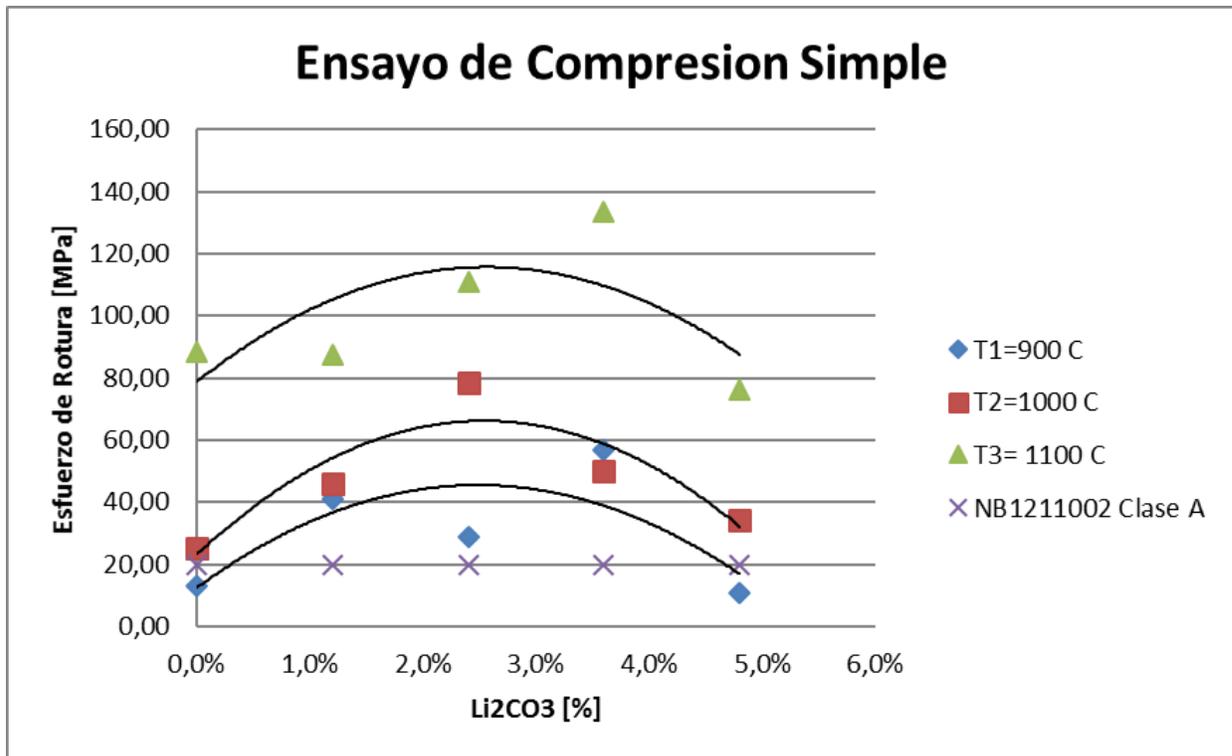
Li₂CO₃	Probeta	Carga (a 900 °C) [kgf]	Diámetro [mm]	Carga (a 900 °C) [Mpa]
0,0%	2A	680	25,4	13,15
1,2%	B1	2420	27,2	40,81
2,4%	C3	1690	27,1	28,71
3,6%	D2	2310	22,5	56,94
4,8%	E3	600	26,6	10,58
Li₂CO₃	Probeta	Carga (a 1000 °C) [kgf]	Diámetro [mm]	Carga (a 1000 °C) [Mpa]
0,0%	A7	1470	27,0	25,16
1,2%	B7	2460	25,8	46,11
2,4%	C7	4090	25,5	78,48
3,6%	D8	2760	26,2	50,17
4,8%	E9	1860	26,0	34,33
Li₂CO₃	Probeta	Carga (a 1100 °C) [kgf]	Diámetro [mm]	Carga (a 1100 °C) [Mpa]
0,0%	A10	4790	26,0	88,41
1,2%	B11	4210	24,5	87,52
2,4%	C12	5200	24,2	110,79
3,6%	D11	6380	24,4	133,71
4,8%	E12	3700	24,6	76,29

Fuente: elaboración propia

La figura 35 muestra la tendencia de cada una de las cargas aplicadas, se puede ver las tensiones de rotura y tensión de ruptura de la mismas, de acuerdo a la NB 1211002 la tensión de rotura para un ladrillo clase A es 20 [MPa], así se

observa que todas las cargas son mayores a su requerimiento mínimo según la norma.

Figura 32: Ensayo de compresión simple



Fuente: elaboración propia

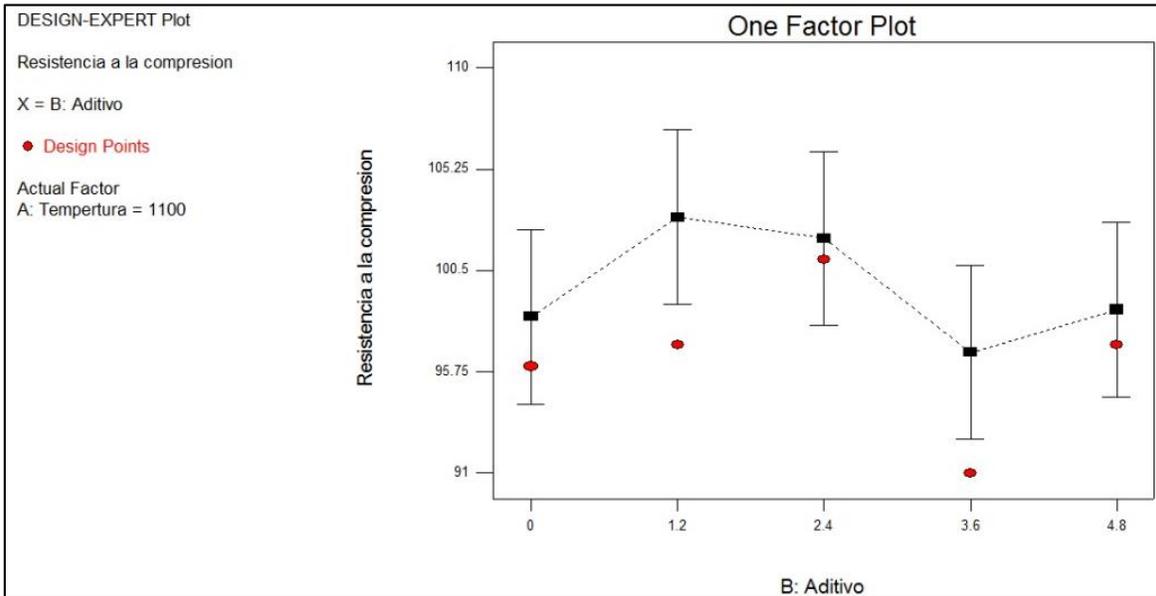
4.3. Influencia de factores

Para la determinación del factor de influencia se ven cada uno de los casos para el factor A que es la temperatura y el factor B que es el porcentaje de carbonato de litio.

4.3.1. Factor A: Temperatura de cocción

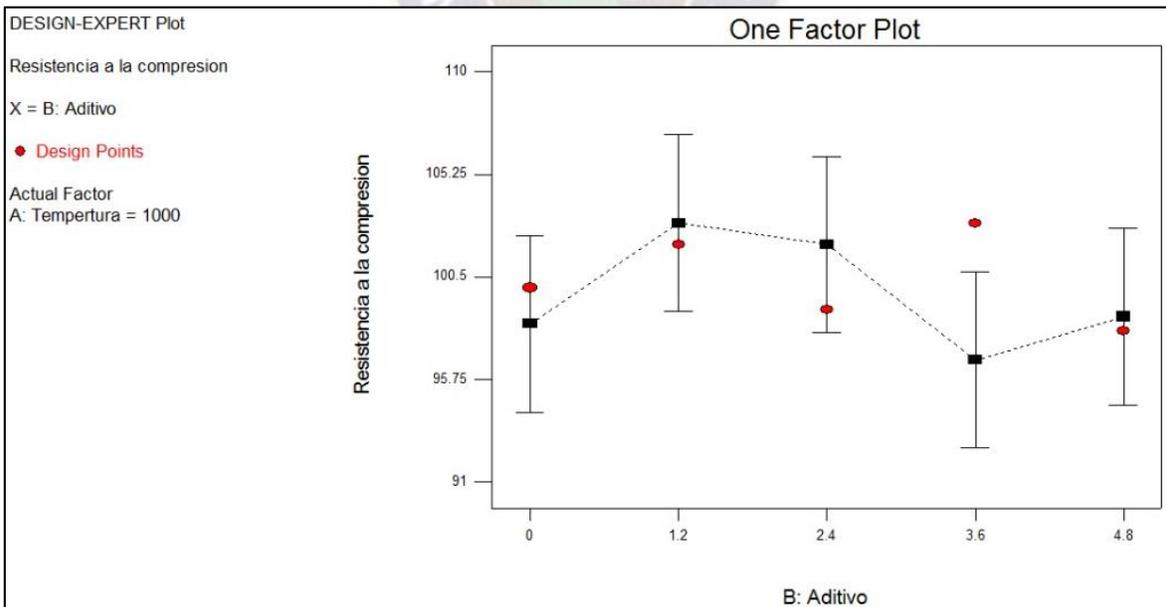
Se realiza un análisis del comportamiento de los factores basados en los tres niveles de temperatura de horneado esto se ven en las Figuras 36, 37 y 38.

Figura 33: Influencia de la temperatura de cocción a 1100 °C



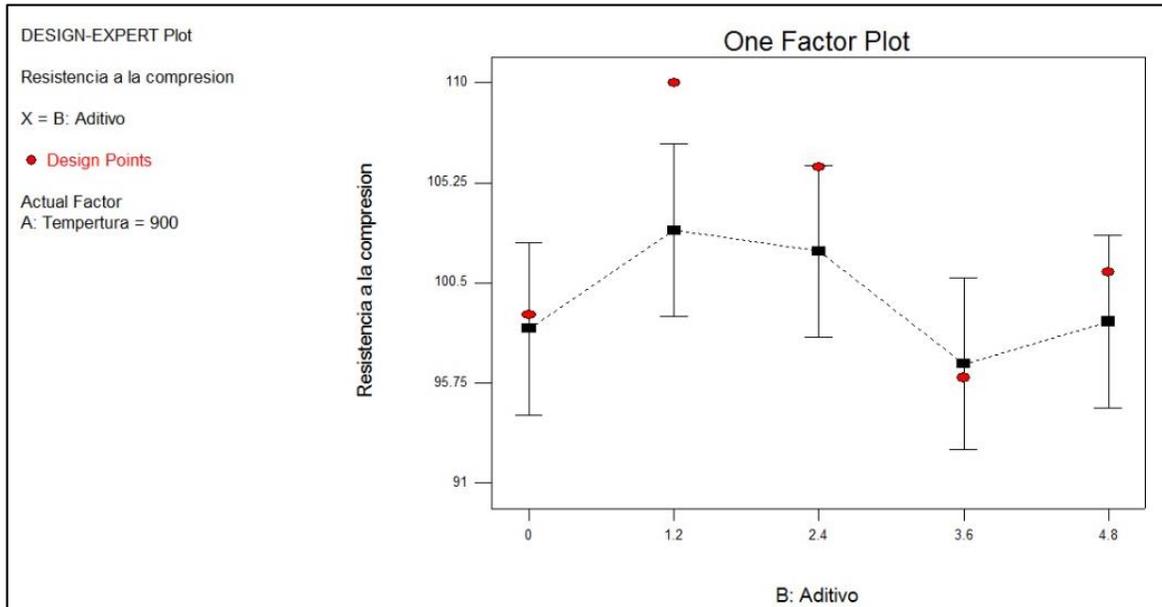
Fuente: elaboración propia

Figura 34: Influencia de la temperatura de cocción a 1000 °C



Fuente: elaboración propia

Figura 35: Influencia de la temperatura de cocción a 900 °C



Fuente: elaboración propia

El software Design Expert, arroja las anteriores gráficas, donde, la línea que atraviesa los cuadrados negros representa el promedio y rango de la variable dependiente resistencia a la compresión. Los puntos rojos representan los puntos de trabajo obtenidos experimentalmente. Los tres gráficos corresponden a su vez a tres temperaturas de cocción.

En la figura 36 se observa que los puntos experimentales siguen la tendencia de la curva, pero en la parte inferior del rango, además que poseen dos puntos fuera de rango.

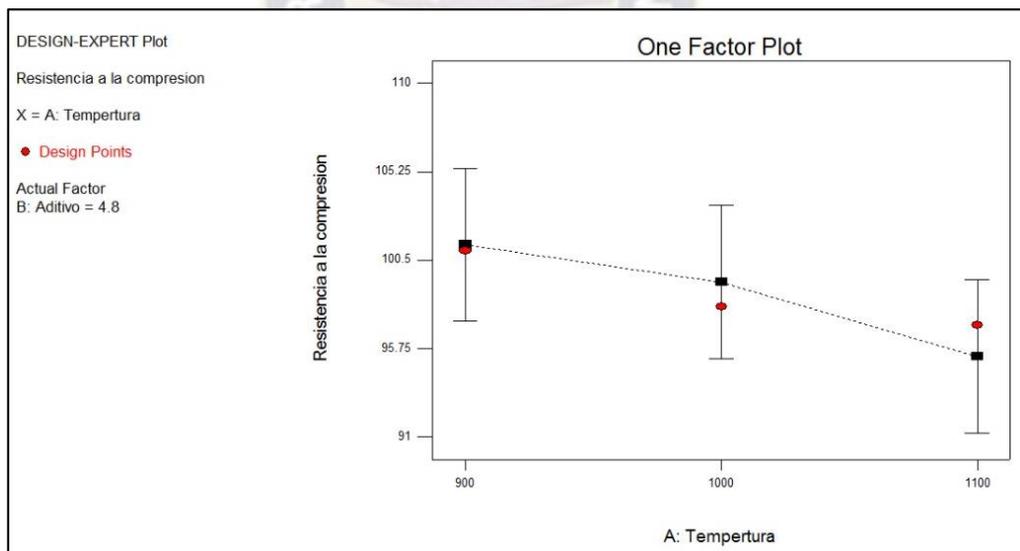
En la figura 37 se observa que existen puntos mixtos dentro de la curva de tendencia hacia el rango superior y rango inferior, no obstante, para la concentración de 3.6% se tiene un punto experimental en contraposición de la curva. Dado que sólo se realizó solo una corrida a las pruebas, se sugiere que en un futuro analice esta desviación, para corroborar si se debe a un error experimental, o si para las condiciones se tiene otro comportamiento del material.

En la figura 38 encontramos el valor de respuesta de la variable dependiente más alto: 110.00 [MPa] para una temperatura de 900 [°C] y una concentración de 1.2% de carbonato. Los puntos experimentales siguen la curva de tendencia en el rango superior y de hecho como ya se mencionó contienen el máximo valor, aunque este está fuera de rango. Al presentarse el máximo valor en estas dos condiciones que son las buscadas por este trabajo: la menor temperatura y una concentración baja de carbonato de litio, se sugiere profundizar los diseños experimentales en este rango de condiciones.

4.3.2. Factor B: Carbonato de litio

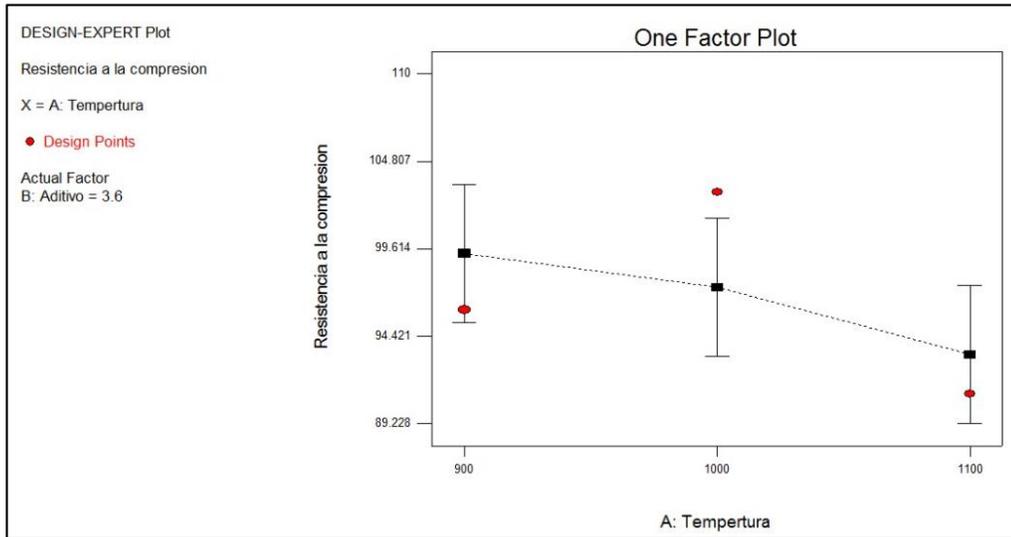
Se realiza un análisis del comportamiento de los factores basados en los tres niveles de temperatura de horneado esto se ven en las figuras 39,40,41,42 y 43.

Figura 36: Influencia del carbonato de litio añadido 4.8%



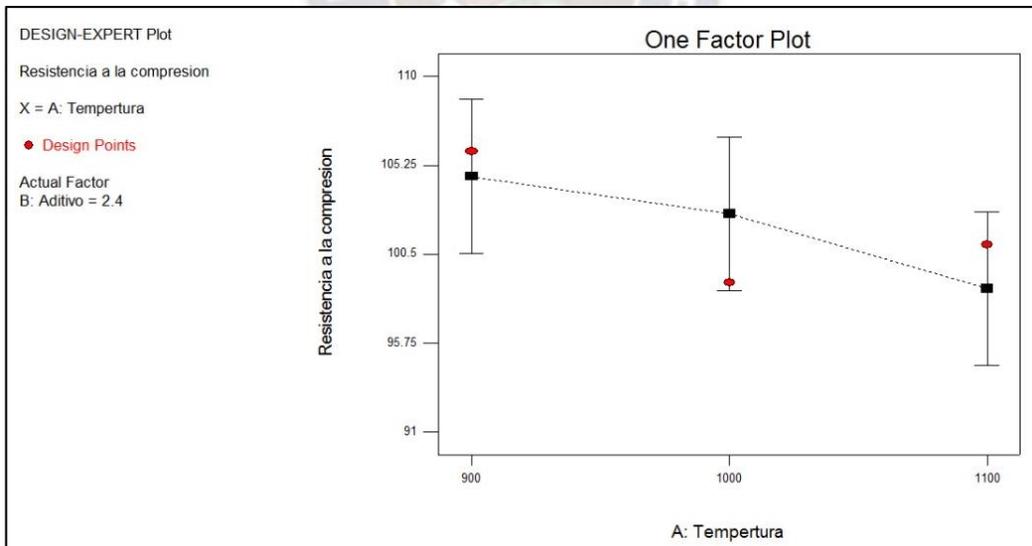
Fuente: elaboración propia

Figura 37: Influencia del carbonato de litio añadido 3.6%



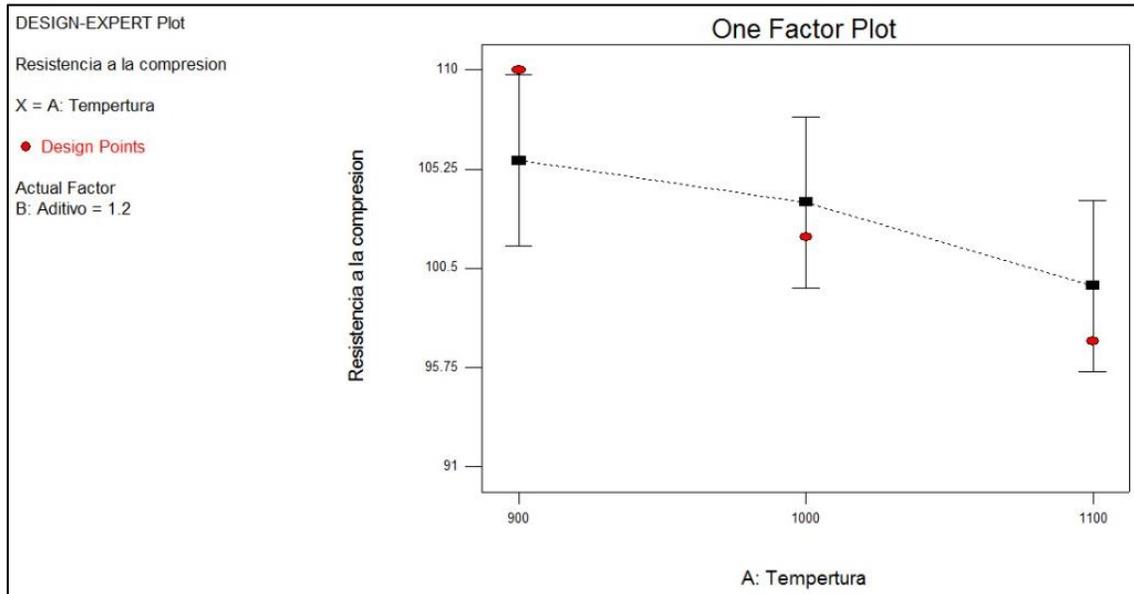
Fuente: elaboración propia

Figura 38: Influencia del carbonato de litio añadido 2.4%



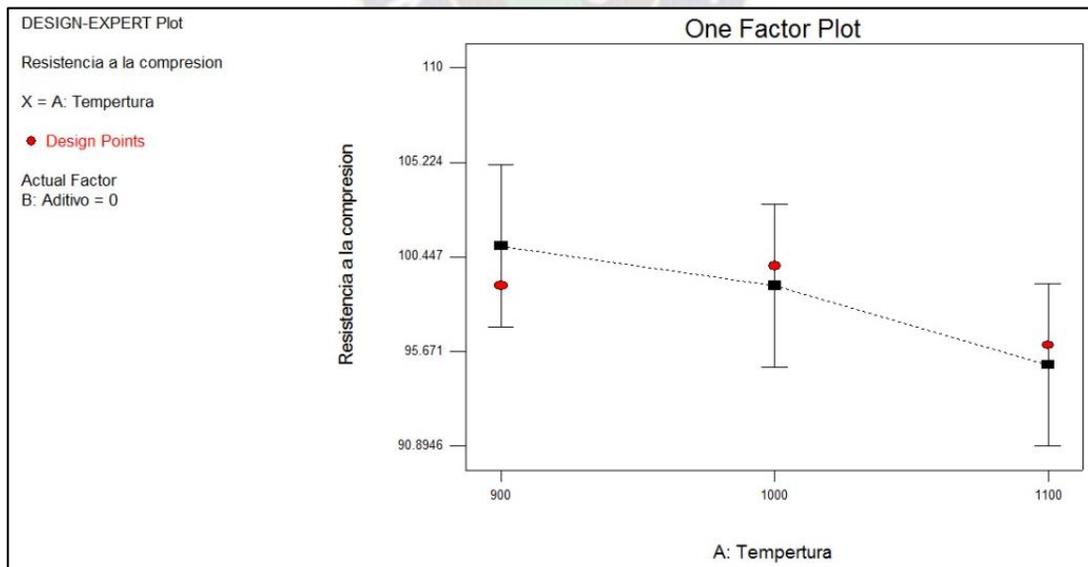
Fuente: elaboración propia

Figura 39: Influencia del carbonato de litio añadido 1.2%



Fuente: elaboración propia

Figura 40: Influencia del carbonato de litio añadido 0%



Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se ha podido evidenciar que la cerámica con aditivos de carbonato de litio mejora sus características de resistencia a la fractura, densidad y reducción en la temperatura de cocción ya que el carbonato de litio es una fundente todo esto mediante el estudio cristalográfico en el microscopio electrónico el cual muestra la densidad y la angulosidad de la cerámica preparada.

En la primera producción de probetas se pudo evidenciar que el proceso sinterizado no arroja resultados correlativos, en cambio los ensayos de las probetas, es así que para la compactación se tienen un parámetro de dónde empezar y solo se realizó los ensayos con el producto extruido

También se pudo evidencia que la mayor pérdida de humedad ocurre en el primer día de secado.

Referente a el ensayo de compactación se puede evidenciar que las probetas experimentan un incremento en la resistencia de fractura en función del aditivo de carbonato de litio y la temperatura de cocción de la cerámica

5.2. Recomendaciones

En base a la experiencia de la realización de recomienda seguir estudiando las propiedades de las arcillas buscando la mejor aplicación abriendo un abanico de posibilidades para futuros producto ya sean modificado o nuevos en el mercado, así también el estudio técnico económico y la relación costo beneficio de la adicción carbonato de litio y la propiedad mejorada.

También se recomienda realizar pruebas en las industrias ya que estos resultados serán más concretos. Probar con un gran lote de ladrillos para que se puedan tener más de 2 réplicas.

Anexos

Anexo 1



CORPORACION MINERA DE BOLIVIA

Av. Camacho Nº 1396 • P.O. Box 349 y 1414

La Paz, 25 de noviembre de 2015

I&D-GNRE- 546/2015

Señor
Dr. Ing. Marco Antonio Ruiz G.
DIRECTOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
MECANICAS Y ELECTROMECHANICAS
UMSA
Presente

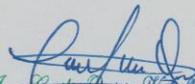
**Ref.: ENTREGA DE MUESTRA DE CARBONATO DE LITIO PARA
INVESTIGACION DE POST GRADO**

De mi consideración:

En el marco del convenio de cooperación técnica firmada entre la Universidad Mayor de San Andrés y la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos y de acuerdo a su solicitud, adjunto a la presente se hace la entrega una muestra de 5 kilos de carbonato de litio con su respectivo reporte de análisis químico, con la finalidad de emplearlos en la investigación de post grado "Evaluación de propiedades mecánicas, aplicadas a la construcción en ladrillos producidos de suelos arcillosos de La Paz, con aditivos de carbonato de litio – Caso: Yacimiento de arcilla de Aranjuez"

En este sentido, solicitamos proporcionar los resultados emergentes de esta investigación y una copia del proyecto.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más alta consideración.


Ing. Fabiola Cordero
DIRECTORA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
GNR/2 - COMIBOL

CQV/Fabiola
CC Arch.

Anexo 2



CORPORACIÓN MINERA DE BOLIVIA
GERENCIA NACIONAL DE RECURSOS EVAPORITICOS DE BOLIVIA
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO - LA PAZ

REPORTE DE ENSAYO
NOTA INTERNA
I&D-LAB-LP - 108/2015

PROCEDENCIA DE LA MUESTRAS : OFICINA CENTRAL
TIPO DE MUESTRA : SOLIDOS
ENSAYO SOLICITADO : DETERMINACIÓN DE LITIO, SODIO, POTASIO
CALCIO, MAGNESIO, CLORUROS, SULFATO,
CARBONATOS, HUMEDAD
FECHA DE RECEPCIÓN LABORATORIO : 23 DE NOVIEMBRE DE 2015
FECHA DE REPORTE DEL ENSAYO : 24 DE NOVIEMBRE DE 2015

COD LAB	Muestra	CONCENTRACION DE CRISTAL [% peso]												(*) VS VH	Observaciones
		Li	Mg	K	Na	Ca	SO4	Cl	B	CO3	OH	Humedad	Si		
43-V-C	U2CO3 Oficina	18,02%	0,757	0,097	1,061	0,00%	0,538	1,322		78,28		15,66		VS	

Método analítico.-

La determinación de Litio, Sodio, Magnesio, Potasio, Calcio, cloruros, Sulfatos, Carbonatos, Humedad, se determinó por el procedimiento del Laboratorio de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos

Observaciones.- Las muestras se cuartearon y se secaron a una temperatura mayor a 90°C. para posterior cuantificación de ensayos solicitados.

[Firma]
Santos Tiempos Copa Choque
ENCARGADO DE LABORATORIO
COMIBOL - GNRE

SECCION
Química

Anexo 3



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
 FACULTAD DE TECNOLOGÍA
 CONSTRUCCIONES CIVILES

LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES CIVILES
 LABOTECC

Av. Arce #2299 - Plaza Bolívar, Facultad de Tecnología - Ciudad de La Paz Tel: 2440953-2612557
 La Paz - Bolivia



SOLICITUD DE SERVICIOS **Nº 001061**

Cliente: Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME)
 Dirección: Universidad Mayor de San Andrés Código de Laboratorio: 1020071028
 Razón Social: Universidad Mayor de San Andrés Nit: 1020071028
 Email: _____ Teléfono: _____ Fecha: 27-10-16 Hora: _____

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Evaluación de propiedades mecánicas aplicadas a la construcción
 Departamento Y Provincia: Z/1 Ciudad/ Municipio: La Paz Zona: de ladrillos cerámicos
 Comunidad: _____ Zona: Cota Cota - Calle 30
 Residente: _____ Supervisor o Fiscal: _____

DATOS DE LA MUESTRA

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	COSTO Bs.	
			Unitario	Total
4	MA02	Compresión de ladrillos de arcilla	25.-	100.-
			TOTAL Bs.	

DATOS DE RECEPCION

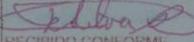
Solicitado Por: Ing. Ericka Mamani Teléfono: 76212439 Firma: 

Carga: _____

DATOS DE LA SALIDA DE PERSONAL Y EQUIPO

Técnico Operador: _____ Hora de Salida: _____
 Fecha de Salida: _____
 Placa de Móvil: _____
 Descripción del equipo recibido: _____

DATOS DE LA ENTREGA

Fecha probable de entrega: _____ NUMERO DE DEPOSITO BANCARIO: 97673839
 FECHA DE DEPOSITO BANCARIO: 26-10-16
 Encargado de recepción: Frasia Silva R.  RECIBIDO CONFORME

Observaciones: _____

Bibliografía

Agencia de recursos Evaporíticos. <http://comibol.gob.bo/index.php/24-noticias-inicio/1009-litio>

Environmental Justice Atlas. <https://ejatlas.org/conflict/extraccion-de-litio-en-el-salar-de-uyuni-bolivia>

www.tecnologiaslimpias.org

www.crugroup.com/about-cru/cruinsight/Lithium-The_Problem_With_Prices

FICHAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD QUÍMICA (2016). L. (2002). Carbonato de litio. www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1101a1200/nspn1109.pdf

WIKIPEDIA (12 de junio de 2016). L. (2002). Carbonato de litio. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Carbonato_de_litio

<http://uningenierocivil.blogspot.com>

Jimena Paredes: «Japón afirma que extraer litio del salar de Uyuni es complejo» en La Razón 12/8/2012, www.la-razon.com/economia/Japon-afirma-extraer-Uyuni-complejo_0_1667233364.html

Vielhaber, L. (2002). Tecnología de los esmaltes. Barcelona: Reverte.

NB-12110001:2013 Ladrillos cerámicos - Ladrillos huecos - Clasificación y requisitos (Quinta revisión).

NB-12110002:2013 Ladrillos cerámicos - Métodos de ensayo (Cuarta revisión).

NB-12110003:2013 Ladrillos cerámicos - Ladrillos macizos - Clasificación y requisitos (Tercera revisión).

Mónica Dávalos Lara (1997), Las Arcillas en La Paz y Cochabamba y su aplicación en la escultura. La Paz.

Kulisev, V.K. Miklushevsky, V. V., Batulya, I.I., 2006 Litio. MISIS. 2006, Moscú-Rusia.

Garcés Millas, I., La industria del litio en Chile. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antofagasta, Chile.

Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. / Complejo Minero, 2011, Litio, Argentina. 2011. 45.

Makoto Ayabe, Marco Ruiz, Ericka Mamani. Fascículo de divulgación temas relacionados con la industrialización del litio, 2016, La Paz – Bolivia.

Juliana Strobele-Gregor, El proyecto estatal del litio en Bolivia, 2013, La Paz - Bolivia

Mora, D. (2002). Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso. Cuenca: Ecuador.

Douglas C. Montgomery (2004) Diseño y Análisis de Experimentos.

Autor: Ericka Mamani Riveros

Correo: erimaricat@gmail.com

Celular: 76212434



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2435/2023
La Paz, 6 de Septiembre del 2023

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 30 de Agosto del 2023, por ERICKA MAMANI RIVEROS con C.I. N° 6148489 LP., con número de trámite DA 1265/2023, señala la pretensión de inscripción de la Tesis de Postgrado titulada: "Evaluación de propiedades mecánicas, aplicadas a la construcción, en ladrillos producidos de suelos arcillosos de La Paz, con aditivos de carbonato de litio - Caso yacimiento arcilla de Aranjuez", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma descentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todas sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios".



Oficina - La Paz
Av. Montes, N° 95,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telf.: 2192700
2192728 - 2192751

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 26, Edif. Bicentenario.
Telf.: 3217152 - 32141936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 731,
entre 16 de Julio y Antisana.
Telf.: 4441403 - 72441957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Cerro
1200, Piso 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 2440001 - 72441939

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 1, N° 966
casi esq. Urteagaquilla,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72095873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Oro Negro y Acacia
Edif. Santa Clara, N° 263.
Telf.: 7205588

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre N° 587
entre Ayacucho y Junín,
Galería Central, Of. 14.
Telf.: 6200008

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alva y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 1.
Telf.: 7208840

"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

www.senapi.gob.bo



Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Tesis de Postgrado titulada: "Evaluación de propiedades mecánicas, aplicadas a la construcción, en ladrillos producidos de suelos arcillosos de La Paz, con aditivos de carbonato de litio - Caso yacimiento arcilla de Aranjuez", a favor de la autora y titular: ERICKA MAMANI RIVEROS con C.I. Nº 6148489 LP., quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/Imq
c.e. Arch.



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Montalvo, Nº 515,
entre Esq. Olaguer y
C. Estación Illimani.
Telf.: 2152000
2152176 - 2152191

Oficina - Santa Cruz
Av. Olaguer, Calle
prolongación Oujarzo,
Nº 29, Edif. Bicentenario.
Telf.: 3011952 - 32064916

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 515,
entre 16 de Julio y Arizansa.
Telf.: 4446409 - 32064957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 2610
Edif. Multicentro El Ceibo
Edif. Piza 1, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 2143001 - 22041009

Oficina - Ortopalca
Calle Kilómetros 7, Nº 216
casi esq. Bernardino,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 22065873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calle Oro Trigo y Avana
Edif. Santa Clara, Nº 243.
Telf.: 22095266

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre Nº 583
entre Apacocha y Janin,
Calle Central, Of. 14.
Telf.: 4200488

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Albo y San Alberto,
Edif. AM. Salinas Nº 262,
Primer Piso, Of. 11.
Telf.: 2202866

www.senapi.gob.bo