



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

**ESTUDIO SOBRE LA DISMINUCIÓN DEL AGUA PRESENTE EN
LOS LODOS NEGROS PARA SU UTILIZACIÓN EN LA
FABRICACIÓN DE LADRILLOS**

JOHANA ARCE CANO

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO EN
CONSTRUCCIÓN**

PROFESOR GUÍA: CÉSAR RETAMAL BRAVO

CURICÓ – CHILE

2022

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" around the top edge, "DIRECCIÓN" in the center, and "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" around the bottom edge. A blue ink signature is written over the stamp. The right stamp is grey and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" around the top edge, "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" around the middle edge, and "CAMPUS CURICO" around the bottom edge. A blue ink signature is written over the stamp.

Curicó, 2023

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	9
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	10
1.1 Introducción	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Justificación	11
1.4 Hipótesis	12
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	13
2.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS	13
2.1.1 Contexto histórico en Chile	13
2.1.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	13
2.1.3 Descripción	14
2.1.4 Aguas residuales.....	14
2.1.5 Componentes de las aguas residuales	14
2.1.6 Pretratamiento	14
2.1.7 Tratamiento primario.....	15
2.1.8 Tratamiento secundario	16
2.1.9 Tratamiento terciario	16
2.1.10 Objetivos de las plantas de tratamientos.....	16
2.1.11 Las plantas de tratamientos de aguas servidas más grandes del mundo	17
2.2 LODOS NEGROS	19
2.2.1 Lodos y su tratamiento	19
2.2.2 Composición de los Lodos	19
2.2.3 Tipos de lodos	19
2.2.3.1 Lodo primario.....	19
2.2.3.2 Lodo secundario	20

2.2.3.2.1 Lodo activado	20
2.2.4 Estabilización del lodo	20
2.2.4.1 Digestión anaeróbica	20
2.2.4.1.1 Tipos de digestores anaerobios	21
2.2.4.2 Digestión aeróbica	22
2.2.5 Espesado de lodos	22
2.2.5.1 Espesado por gravedad	22
2.2.5.2 Espesado por flotación.....	23
2.2.5.3 Espesado por centrifugación.....	23
2.2.6 Secado del lodo	24
2.2.6.1 Era del secado.....	24
2.2.6.2 Deshidratación mecánica	24
2.2.7 Normativa de lodos en Chile	25
2.2.8 Reutilización de lodos en el mundo	25
2.3 LADRILLOS	26
2.3.1 Definición.....	26
2.3.2 Orígenes del ladrillo	26
2.3.3 Materias primas para su fabricación	26
2.3.4 Normativa actual para ladrillos.....	26
2.3.5 Proceso de elaboración del ladrillo	27
2.3.5.1 Maduración.....	27
2.3.5.2 Preelaboración.....	28
2.3.5.3 Depósito de materia prima procesada	28
2.3.5.4 Humidificación	28
2.3.5.5 Moldeado.....	28
2.3.5.6 Secado	29
2.3.5.7 Cocción	29
2.3.5.8 Almacenaje.....	29
2.3.6 Clasificación de los hornos para cocción de ladrillos	29
2.3.6.1 Hornos intermitentes	30
2.3.6.1.1 Horno rural	30

2.3.6.1.2 Horno de llama rasante	30
2.3.6.1.3 Hornos redondos o de llama invertida.	30
2.3.6.2 Hornos continuos con zona móvil de cocción.....	30
2.3.6.2.1 Horno anular de Hoffmann	30
2.3.6.3 Hornos continuos con zona fija de cocción.....	31
2.3.6.3.1 Hornos de túnel.....	31
2.3.7 Clasificación de ladrillos	31
2.3.7.1 Clasificación por clases	31
2.3.7.1.1 Ladrillos macizos hechos a máquina (MqM)	31
2.3.7.1.2 Ladrillos perforados hechos a máquina (MqP)	32
2.3.7.1.3 Ladrillos huecos hechos a máquina (MqH).....	32
2.3.7.1.4 Ladrillos cerámicos hechos a mano (MnM).....	32
2.3.7.2 Clasificación por grados	32
2.3.7.2.1 Grado 1	32
2.3.7.2.2 Grado 2	33
2.3.7.2.3 Grado 3	33
2.3.8 Requisitos mecánicos	33
2.3.8.1 Resistencia a la compresión.....	33
2.3.8.1.1 Aparatos utilizados	33
2.3.8.1.2 Procedimiento de ensayo a compresión	34
2.3.8.1.4 Resultados	34
2.3.8.2 Absorción de agua	34
2.3.8.2.1 Aparatos utilizados	34
2.3.8.2.2 Procedimiento de ensayo de absorción de agua	34
2.3.8.2.3 Resultados	34
2.3.8.3 Adherencia a Cizalle.....	35
2.3.8.3.1 Aparatos utilizados	35
2.3.8.3.2 Procedimiento de preparación de probetas.....	35
2.3.8.3.3 Procedimiento de ensayo de adherencia a cizalle	36
2.3.8.3.4 Resultados	36
2.3.9 Economía del ladrillo	36
2.3.9.1 Estadísticas de producción.....	37
CAPÍTULO 3: DESARROLLO.....	38
3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	38

3.1.1 Variables de Análisis.....	38
3.1.2 Hipótesis.....	38
3.1.3 Metodología (Diagrama y explicaciones).....	39
3.2 TRABAJO DESARROLLADO	40
3.2.1 Plan de trabajo.....	40
3.2.2 Desarrollo de actividades	41
3.2.2.1 Retiro de lodo desde planta.....	41
3.2.2.2 Análisis de muestra antes de su uso.....	41
3.3.3 Resultados primarios, iniciales	43
3.3.3.1 Estudio de la materia prima	43
3.3.3.1.1 Densidad del lodo	43
3.3.3.1.2 Porcentaje (%) de humedad del lodo	44
3.3.3.1.3 Granulometría del lodo.....	45
3.3.3.2 Confección de ladrillos.....	46
3.3.3.3 Cocción de ladrillos.....	50
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
4.1 DESGLOSE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	52
4.1.1 Programación	52
4.1.2 Análisis de estructuras.....	52
4.1.3 Levantamiento de datos.....	53
4.1.3.1 Absorción de agua	53
4.1.3.2 Resistencia a la compresión.....	57
4.1.4 Análisis económico del ladrillo	63
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
BIBLOGRAFÍA	65
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. PTAS Nuevosur.....	13
Imagen 2. Tanque de tratamiento primario.....	16
Imagen 3. Espesador por gravedad.....	23
Imagen 4. Espesador por flotación.....	23
Imagen 5. Filtro prensa de banda.....	24
Imagen 6. Proceso de elaboración del ladrillo.....	27
Imagen 7. Tipos de ladrillos.....	31
Imagen 8. Depuradora más grande del mundo.....	37
Imagen 9. Moldaje 30x15x5.5 cm.....	39
Imagen 10. Carta Gantt.....	40
Imagen 11. Lodo con un porcentaje de humedad del 83%.....	41
Imagen 12. Secado del lodo en horno - Lodo seco.....	42
Imagen 13. Densidad del lodo.....	43
Imagen 14. Peso húmedo y seco del lodo.....	44
Imagen 15. Granulometría del lodo.....	45
Imagen 16. Mezcla cal hidráulica, tierra de color, arena y 10% de lodo.....	46
Imagen 17. Mezcla arcilla roja, 5% y 10% de lodo.....	48
Imagen 18. Ladrillos de cal y 10% de lodo.....	48
Imagen 19. Ladrillos de 5% y 10% de lodo.....	49
Imagen 20. Ladrillos de 5% y 10% de lodo, dosificación 2 y 3.....	50
Imagen 21. Cocción de ladrillos dosificación 1 a 200°C.....	50
Imagen 22. Cocción de ladrillos dosificación 2 y 3 a 200°C.....	51
Imagen 23. Cocción de ladrillos pasados 6 días.....	51
Imagen 24. Ladrillos dosificación 2 y 3 al ser sacados del horno.....	52
Imagen 25. Masa de ladrillos secos.....	53
Imagen 26. Absorción de agua.....	54
Imagen 27. Masa de ladrillos saturados.....	54
Imagen 28. Muestra 6 probetas de ladrillos.....	57
Imagen 29. Alto, ancho y largo de ladrillos.....	57
Imagen 30. Peso y ensayo de ladrillos.....	58
Imagen 31. Valores entregados por la prensa de ensayo.....	61
Imagen 32. Pieza después del ensayo.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes químicos	14
Tabla 2. Composición de lodos.	19
Tabla 3. Ventajas y desventajas digestión anaeróbica.	21
Tabla 4. Ventajas y desventajas digestión aeróbica.	22
Tabla 5. Características de los ladrillos cerámicos.	33
Tabla 6. Variables de Análisis - Indicadores – Métodos.	38
Tabla 7. Hipótesis	39
Tabla 8. Resultados muestra 1.	41
Tabla 9. Resultados muestra 2.	42
Tabla 10. Material que pasa.	45
Tabla 11. Dosificación 1	46
Tabla 12. Dosificaciones 2 y 3.	47
Tabla 13. Dosificación 1 en kilogramos.	47
Tabla 14. Dosificaciones 2 y 3 en kilogramos.	47
Tabla 15. Absorción de agua.	55
Tabla 16. Medidas y peso de las probetas.	58
Tabla 17. Resultados de ensayos.	58
Tabla 18. Precios materias prima ladrillos	63
Tabla 19. Precios materias prima ladrillos con lodo negro.	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. % de absorción.	56
Gráfico 2. Área MM2.	59
Gráfico 3. Carga KN.	59
Gráfico 4. Resistencia a compresión.	60

RESUMEN

La presente memoria se centra en la búsqueda de un uso alternativo para los lodos producidos por la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Nuevosur Talca, realizando una evaluación técnica, física y económica sobre la factibilidad de utilizar pequeñas cantidades de lodos negros como materia prima para la fabricación de ladrillos.

La primera etapa de esta investigación se enfoca en los métodos de absorción del agua presente en el lodo negro que es extraído de la planta de tratamiento, este cuenta con un alto porcentaje de contenido de humedad el cual deberá ser reducido antes de ser tratado.

La segunda etapa es la búsqueda de diversas dosificaciones para la correcta preparación de ladrillos artesanales, destacando que en la normativa actual de ladrillos artesanales no se encuentra especificada una dosificación exacta ni materialidad para la construcción de estos. Es por ello que se llevaron a cabo 3 tipos de dosificaciones para esta investigación.

La tercera y última etapa es la etapa mecánica o de ensayos en la cual se analizarán de acuerdo a la norma chilena la característica mecánica físicas de los elementos para determinar el uso de esos en el área de la construcción, esto a través de ensayos de compresión y absorción de agua realizados.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

A inicios de los años 90, el principal problema ambiental en Chile era la contaminación de las aguas. Las playas no se podían utilizar debido al altísimo contenido de coliformes fecales existentes en el mar por las descargas de las aguas servidas, lo que evidenció un incremento respecto al proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) en el año 2000 a través del Decreto Supremo N.º 90 de *“Regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”*. [1]

El proceso de tratamiento de aguas residuales tiene como desventaja la generación de grandes cantidades de desechos contaminantes.

En la actualidad las PTAS ayudan considerablemente el manejo de las aguas y los desechos residuales evacuados, pero diariamente nos encontramos con grandes toneladas de lodos que deben ser desechadas normalmente en vertederos aledaños a pequeñas comunidades que deben vivir con el constante mal olor y contaminación que emana de estos.

La operación de plantas de tratamiento de aguas servidas genera una gran cantidad de lodos negros, los cuales tienen un alto contenido de humedad entre el 92% y el 98%, por lo que se generan grandes volúmenes diarios de un residuo contaminante medioambientalmente. Por lo cual se deben reducir estos porcentajes de humedad para lograr disminuir los desechos producidos, para ello las plantas emplean métodos de extracción de aguas, pero esos no son suficientes ya que solo reducen hasta un 80% la humedad presente en estos lodos dejando de igual forma una gran cantidad de material a desechar lo que produce una gran molestia a los habitantes cercanos a las PTAS y los acopios de lodos de las diferentes empresas y localidades. Este desecho genera la oportunidad de hacer uso del como materia prima para la fabricación de un material de construcción para evitar o reducir así los grandes acopios.

En la VII Región del Maule existen 30 Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas entre ellas está la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Nuevosur, Talca la cual desecha sus lodos con un contenido de humedad del 83% a través de método filtro de banda. Se tomará una pequeña muestra de la planta y se le buscará reducir la humedad entre un 20% a 40% principalmente en relación a la humedad presente en la arcilla roja. Para lograr hacer uso de este como materia prima para la fabricación de ladrillos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar la factibilidad técnica y económica para el uso de diversos porcentajes de lodo negro como materia prima en la fabricación de ladrillos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Determinar las características físicas y químicas de los lodos negros provenientes de la plata de tratamiento de aguas servidas, para detectar cada uno de sus componentes a través de un estudio de laboratorio.
- II. Analizar diferentes métodos de extracción de agua a pequeñas cantidades de lodos, para así obtener los porcentajes de humedad deseados para su uso.
- III. Crear y analizar dosificaciones para la fabricación de probetas, a través de muestras de laboratorio de cada materia prima necesaria para la fabricación de ladrillos.
- IV. Identificar y analizar normas y regulaciones que afectan en los ensayos de comportamiento físico mecánico en la fabricación de probetas de ladrillos, a través de las normativas vigentes para determinar su factibilidad de uso en la construcción.
- V. Realizar análisis económico de la fabricación de ladrillos con residuo de lodo como materia prima, a través de comparativas con precios actuales para determinar su factibilidad en el rubro.

1.3 Justificación

Para el logro oportuno y satisfactorio de cada uno de los objetivos planteados se debe comenzar realizando un análisis químico de las muestras de lodo para poder determinar si existen patógenos o componentes contaminantes y dañinos en este, al momento de la realización de las probetas y debida cocción de los ladrillos. También se tendrá que realizar un análisis físico de comportamiento para determinar si este cumple con los estándares establecidos a la NCh 167, NCh 169 y NCh 2123, para determinar su factibilidad de uso y así económica de estos.

1.4 Hipótesis

HIPÓTESIS 1

El lodo negro permite crear materia prima para la fabricación de ladrillos con características similares a ladrillos artesanales.

- **Variable Independiente:** Tipo de ladrillo.
- **Variable Dependiente:** Resistencia.
- **Variable Interviniente:** Reducción de agua y preparación adecuada.
- **Variables Extrañas:** Porcentaje de agua y lodo.

HIPÓTESIS 2

La cocción de ladrillos de lodo negro a una temperatura media de hasta 200°C entrega mayor resistencia a los ladrillos.

- **Variable Independiente:** Temperatura de cocción.
- **Variable Dependiente:** Resistencia y dureza del ladrillo.
- **Variable Interviniente:** Grados Celsius.
- **Variables Extrañas:** Cambios de temperaturas.

HIPÓTESIS 3

Los ladrillos creados con a lo más un 10 % de lodo negro proveniente de las plantas de tratamiento de aguas servidas tienen características físico mecánicas aptas para el uso en la construcción.

- **Variable Independiente:** Cantidad de lodo Negro utilizado.
- **Variable Dependiente:** Característica Físico Mecánicas.
- **Variable Interviniente:** Estudios Mecánicos.
- **Variables Extrañas:** Porcentajes de materias primas.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

2.1.1 Contexto histórico en Chile

La historia de los servicios de tratamiento de aguas residuales en Chile se inicia con la fundación de la ciudad de Santiago el 12 de febrero de 1541. Con la instalación de las primeras vías de alcantarillados, construidas por el primer ingeniero sanitario don Pedro de Gamboa.

En 1578, Santiago comenzó a recibir agua pura de los manantiales. Sin embargo, durante la época colonial y medio siglo después de la instauración de la República, la mayor parte de la población santiaguina consumía principalmente agua del río Mapocho. A mediados del siglo XIX, durante la era moderna, se construyeron una serie de importantes obras de ingeniería sanitaria como: la primera tubería para abastecer de agua potable a la ciudad de Valparaíso en 1850, la obra de acueducto de Concepción en 1860, la construcción de estanques en La Reina (Santiago) en 1865, la fundación del "Acueducto de Tarapacá" que abasteció a la ciudad de Iquique en 1888 y las cuencas de Vitacura (Santiago). Con esto en 1894 se encargó la primera fase del alcantarillado de Santiago.

2.1.2 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

En la actualidad, según datos entregados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) en “Chile existen 290 plantas activas a lo largo del país, contando en la Región del Maule con un total de 30, de las cuales 22 usan el método de lodos activados, 6 corresponden a laguna aireada, 1 a laguna de estabilización y 1 a biofísicos”. [2]



Imagen 1. PTAS Nuevosur.

Fuente: Talca Capital [3].

2.1.3 Descripción

Las PTAS son diseñadas con el propósito de recolectar aguas residuales domésticas de baños y cocinas; contienen ingredientes que corresponden a los de uso normal de una vivienda.

2.1.4 Aguas residuales

Se refiere al agua contaminada con productos químicos, heces u orina. También se conocen como aguas negras (por su color): suelen incluir todas las aguas vertidas desde el alcantarillado, incluso mezcladas con agua de lluvia.

2.1.5 Componentes de las aguas residuales

Los componentes de las aguas residuales pueden ser físicos, químicos y biológicos:

- **Físico:** La composición física y los parámetros de las aguas residuales son color, olor, sólidos y temperatura.
- **Químicos:** Los componentes químicos más comunes en las aguas residuales (Tabla 1)

ORGÁNICOS	Hidratos de carbono, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes preferentes, tensioactivos, compuestos orgánicos volátiles, etc. Inorgánicos: álcalis, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes preferentes y azufre.
GASES	Sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno

Tabla 1. Componentes químicos.

Fuente: Propia.

- **Biológicos:** Los componentes biológicos más comunes de las aguas residuales son animales y plantas.

2.1.6 Pretratamiento

El pretratamiento o pretratamiento es el paso que da comienzo al tratamiento de las aguas residuales y las prepara para operaciones posteriores de tratamiento. Por lo tanto, no hay objetos en el agua que puedan dañar la instalación o el equipo a utilizar durante todo el proceso de limpieza. En esta etapa se suele realizar primero un proceso de depuración utilizando barras y tamices de varios espesores para separar los residuos sólidos grandes y medianos. Luego, debe usar un desengrasante para eliminar la grasa y la arena.

En esta etapa del tratamiento se pueden utilizar los siguientes accesorios o equipos:

- **Rejas gruesas:** Si la distancia de la barra de acero $d = 5$ cm, el ángulo de inclinación entre la barra de acero y el plano horizontal es de 30° .
- **Rejas medianas:** si la distancia $d=2$ a 5 cm entre las varillas, las varillas tienen un ángulo de inclinación de 45° con respecto a la horizontal.
- **Rejillas:** distancia entre barras $d=1$ a 2 cm, inclinación de las barras 70° respecto a la horizontal.
- **Cedazos finos:** estos son tamaños de malla de $1/4"$ a $1/32"$ (paso de 6 mm a 1 mm) y de $3/16"$ a $3/32"$ (paso de 5 mm a $2,5$ mm).
- **Desarenadores:** Son tanques de flujo continuo que se utilizan para separar arenas y otros sólidos discretos de mayor densidad que las aguas residuales, cuya naturaleza interfiere en la operación y mantenimiento de los equipos que continúan procesando, evitando el colapso del sistema por falla de la bomba. Estos tanques deben estar diseñados para que la arena se separe del líquido restante pero no pueda eliminar los sólidos orgánicos suspendidos en el agua. Un parámetro de diseño clave del tanque del skimmer es la velocidad del flujo horizontal a través de la unidad, que debe estar entre $0,15$ y $0,3$ [m/s] para un funcionamiento adecuado, independientemente de las variaciones de la velocidad del flujo.
- **Trituradores:** Se colocan detrás de pilotes cuando se espera distribuir grandes cantidades de sólidos para proteger estaciones de bombeo u otras unidades de plantas de tratamiento que requieran dicha protección. Consisten en cilindros estriados giratorios por los que fluyen las aguas residuales y en los que los sólidos se cortan mediante engranajes, reduciendo su tamaño.

La operación de limpieza de estas unidades de desbastes puede ser manual o mecánica.

2.1.7 Tratamiento primario

El proceso de tratamiento primario reduce entre el 40 y el 60 por ciento el contenido de aceite, grasa, arena y sólidos grandes. Este proceso se realiza íntegramente por máquinas, por eso también se le conoce como tratamiento mecánico.



Imagen 2. Tanque de tratamiento primario.

Fuente: Internet.

2.1.8 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo degradar significativamente la composición biológica de las aguas residuales, que reciben desechos orgánicos provenientes de desechos humanos, desechos de alimentos, jabones y detergentes.

2.1.9 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es la etapa final para mejorar la calidad de las aguas residuales a los estándares requeridos antes de ser vertidas al medio receptor (mar, río, lago, campo, etc.).

2.1.10 Objetivos de las plantas de tratamientos

Las tecnologías de tratamiento de agua están diseñadas para lograr los siguientes objetivos:

- Los demás objetos son infraestructura que atiende las necesidades sanitarias y de abastecimiento de agua de la ciudad.
- Ayudan a reducir el impacto ambiental.
- Promueven alternativas de abastecimiento de agua en el sector industrial.

Para lograr estos objetivos, la planta de tratamiento realiza las siguientes acciones:

- Eliminación de sólidos de aguas residuales.
- Reduce los contaminantes y la materia orgánica.
- Restaurar el oxígeno.

2.1.11 Las plantas de tratamientos de aguas servidas más grandes del mundo

En muchos lugares, el agua contaminada se vierte directamente en los ríos sin tratamiento. Por eso se necesitan plantas de tratamiento, con las que las personas puedan reducir su impacto en el medio ambiente y en algún momento devolver lo que han tomado prestado: el agua. A continuación, se mencionan 5 de las plantas de tratamiento de aguas residuales más grande del mundo, tanto construidas como en construcción.

- 1) **Planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco:** Las plantas de tratamiento de Atotonilco tienen una capacidad de tratamiento promedio nominal de 35 m³/s y una capacidad de tratamiento máxima de 50 m³/s, incluyendo residuos sólidos para disposición final y lodos generados. Además, la estación estará equipada con una estación de cogeneración para aprovechar el biogás producido en el proceso de descomposición, maximizando así el ahorro energético. Tratará las aguas residuales de una población de 10,5 millones.
- 2) **Planta de recuperación de agua de Stickney:** La planta de tratamiento de aguas residuales de Stickney, ubicada al suroeste de Chicago en Cicero, Illinois, cubre 570 acres (230 ha) y sirve a 2,4 millones de personas que viven en Chicago y 43 suburbios. Consta de dos plantas: la Planta Oeste, que se inauguró en 1930, y la Planta Suroeste, que se inauguró en 1939. La estación de bombeo Mainstream es la estación de bombeo de agua subterránea más grande del mundo y bombea aguas residuales de un sistema de 300 túneles subterráneos profundos a la planta. El lodo de la planta es secado y peletizado por Metropolitan Biosolids Management, una empresa conjunta entre Biosolids Management y Veolia Water North America Operating Services, a la que se le ha adjudicado un contrato de 20 años para diseñar, construir, poseer, operar y mantener la planta de pellets.
- 3) **Planta de tratamiento de aguas residuales de Kashima:** Motivado por una orden judicial federal de 1986 que puso fin a la descarga anual de 500 millones de galones (1,9 millones de metros cúbicos) de aguas residuales sin tratar en el puerto de Boston, la MWRA lanzó un programa de 11 años y \$3600 millones para mejorar el tratamiento de aguas residuales de Boston. En la planta de tratamiento de Kashima, los afluentes son alimentados por tres estaciones de bombeo, fluyen a través de pantallas y luego se dirigen a 48 plantas de tratamiento primario. El tratamiento secundario se realizó utilizando un sistema de lodos activados por gravedad y oxígeno con doce tanques de lodos de 140 pies de alto y 90 pies de diámetro, los más grandes de América del Norte en ese momento. El metano producido durante el proceso de digestión alimenta generadores que generan 3 megavatios de electricidad. El lodo se seca más y se convierte en gránulos de fertilizante. Cada día se producen 75 toneladas de fertilizante y se

venden a plantas procesadoras de fertilizantes agrícolas, jardineros y campos de golf. Después del tratamiento primario y secundario, el efluente se desinfecta y esteriliza mezclándolo primero con hipoclorito de sodio y luego agregando bisulfito de sodio para eliminar el cloro del agua para que la descarga no ponga en peligro la vida marina. La instalación incluye dos túneles de 5 millas de largo, un túnel sumergido de 14 pies de diámetro para desviar las aguas residuales de la planta de tratamiento primario de Nut Island y un túnel de 9,5 millas y 24 pies de diámetro para descargar aguas residuales tratadas a la Bahía de Massachusetts. La instalación trata las aguas residuales de 2,5 millones de personas en 43 comunidades del área metropolitana de Boston.

- 4) **Planta de tratamiento de aguas residuales de Detroit:** La instalación comenzó a operar en 1939 y solo proporcionaba procesamiento primario. La Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua (Agua Limpia) de 1972 ordenó el tratamiento secundario completo de todas las aguas residuales municipales, lo que resultó en la construcción de depósitos de aireación, clarificadores finales, equipos de oxígeno criogénico y tratamiento adicional de lodos en la instalación. Dos estaciones de bombeo de aguas residuales elevan el agua desde el interceptor hasta la instalación. La planta utiliza un proceso de lodos activados con oxígeno puro con un tanque de agua rectangular con tapa. Sirve a 3,5 millones de personas que viven en 76 comunidades aledañas en Detroit y el sureste de Michigan y cubre un área de 946 millas cuadradas.
- 5) **Planta de tratamiento de aguas residuales de Bailonggang:** Como la fábrica más grande de Asia, Bailonggang inició operaciones en 1999 y se expandió a su capacidad actual en 2008. Como parte de la expansión, la instalación agregó tanques de lodos anaeróbicos, así como equipos de secado y eliminación de lodos. El proceso de digestión reduce la cantidad de lodo crudo. Una parte de los lodos procesados y deshidratados se somete además a un secado térmico, mientras que el resto se entierra en un vertedero. Los lodos secos se utilizan para fines no agrícolas. El biogás obtenido como resultado de la digestión se utiliza para operar la planta de secado de lodos. Tiene una capacidad de 740 millones de galones (2,8 millones de metros cúbicos por día).

2.2 LODOS NEGROS

2.2.1 Lodos y su tratamiento

El lodo es un subproducto líquido, sólido o semisólido producido durante el tratamiento de aguas residuales, son el material evacuado del fondo de los tanques de sedimentación primaria y secundaria que implica una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos. Los lodos están formados por contaminantes nocivos para la salud y, por lo tanto, deben ser tratados. Deben ser estabilizados, espesados y esterilizados antes de ser enviados a su disposición final.

2.2.2 Composición de los Lodos

La composición de los lodos producidos durante el tratamiento de aguas residuales domésticas varía según el proceso en el que se producen (Tabla 2).

Parámetros	Lodos Primarios	Lodos Secundarios	Lodos Digeridos
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Contenido de agua (%)	92-96	97.5-98	94-97
SSV (%SS)	70-80	80-90	55-65
Grasas (%SS)	12-14	3-5	4-12
Proteínas (%SS)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (%SS)	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno (%SS)	2-5	1-6	3-7
Fósforo (%SS)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas (NMP/100ml)	103-105	100-1000	10-100
Metales pesados (%SS) (Zn, Cu, Pb)	0.2-2	0.2-2	0.2-2

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles, NMP: Número Más Probable, SS: Sólidos Suspendidos.

Tabla 2. Composición de lodos.

Fuente: Tratamiento de lodos, Wikipedia [4].

2.2.3 Tipos de lodos

2.2.3.1 Lodo primario

El lodo primario se produce durante el tratamiento primario de aguas residuales. Consiste en productos de aguas residuales no disueltos. La composición de los lodos depende de las características de la zona de captación. Generalmente contiene mucha materia orgánica, verduras, frutas, papel, etc. en el estado inicial de descomposición. La consistencia se caracteriza por un fluido denso con un porcentaje de agua que varía entre el 92% y el 96%.

2.2.3.2 Lodo secundario

Durante el tratamiento se desea una vida útil constante de los lodos, para lo cual se debe retirar el exceso de biomasa de la planta de tratamiento biológico de lodos. El lodo secundario es rico en lodo activado.

2.2.3.2.1 Lodo activado

La eliminación de materia orgánica disuelta y nutrientes en las aguas residuales ocurre durante el tratamiento biológico del agua, un proceso complejo en el que interactúan diferentes tipos de bacterias y microorganismos que requieren oxígeno para sobrevivir, crecer y reproducirse y consumir materia orgánica.

El lodo resultante se denomina lodo activado. Este lodo suele estar en forma de flóculo¹ que contiene biomasa viva y muerta, así como fracciones minerales y orgánicas absorbidas y almacenadas.

2.2.4 Estabilización del lodo

La estabilización de lodos tiene como objetivo: reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de deterioro.

Los métodos de estabilización más efectivos para lograr estos objetivos son: la reducción biológica del contenido de volátiles, la oxidación química de los volátiles, la adición de productos químicos para hacer que el lodo no sea apto para la vida microbiana y el calor para esterilizar el lodo.

Las técnicas más utilizadas para la estabilización de lodos son: digestión anaeróbica y digestión aeróbica.

2.2.4.1 Digestión anaeróbica

Este proceso de estabilización de lodos se basa en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular. La materia orgánica en la mezcla de lodo primario y secundario se convierte principalmente en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

Este proceso tiene lugar en un reactor completamente cerrado, donde se introducen lodos de forma continua o intermitente, que permanecen en el interior del reactor durante un largo tiempo. El lodo estabilizado extraído del reactor tiene concentraciones reducidas de materia orgánica y patógenos vivos.

Flóculo¹: en ingeniería de tratamiento de aguas, es un grupo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.

Las principales ventajas y desventajas de la digestión anaerobia (Tabla 3).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. Produce menor cantidad final de lodos, el desarrollo de estas bacterias es más lento y la mayor parte de la energía se deriva hacia la producción del producto final, metano. 2. La energía requerida para el tratamiento de las aguas residuales es muy baja. 3. Se puede adaptar a cualquier tipo de residuo industrial. 4. Se pueden cargar los digestores con grandes cantidades de materia. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es un proceso lento. 2. Es más sensible a tóxicos inhibidores. 3. La puesta a punto del sistema requiere largos periodos. 4. En muchos casos, se requiere mayor cantidad de producto a degradar para el buen funcionamiento.

Tabla 3. Ventajas y desventajas digestión anaeróbica.

Fuente: Propia.

2.2.4.1.1 Tipos de digestores anaerobios

Las cámaras de fermentación utilizadas se dividen en reactores de baja y alta carga. En cámaras de fermentación de baja carga, donde no se calienta el purín², ni se remueve su contenido, el tiempo de exposición varía de 30 a 60 días.

Por otro lado, la cámara de fermentación de alta carga dispone de un dispositivo de calentamiento y agitación de los lodos contenidos en la cámara de fermentación. La mezcla de lodos se puede lograr mediante circulación de aire, mezcladores mecánicos, bombas o mezcladores de succión. El tiempo de espera de este tipo de fermentador suele ser inferior a 15 días. Estos dos procesos se pueden combinar en un llamado proceso de dos pasos.

Purín²: residuos de origen orgánico, como aguas residuales y restos de vegetales, cosechas, semillas, concentraciones de animales muertos, pesca, comida, excrementos sólidos o líquidos, o mezcla de ellos, fermentados o con capacidad de fermentar que tienen impacto medioambiental.

2.2.4.2 Digestión aeróbica

La fermentación aeróbica se usa comúnmente para cultivos con rendimientos relativamente bajos (Tabla 4).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Menores concentraciones de DBO ³ logradas en el sobrenadante. 2. La inversión inicial suele ser menor. 3. Producto final, biológicamente estable.	1. Pueden ser sustanciales, entre ellas: los costos de energía más altos asociados con el suministro del oxígeno requerido.

Tabla 4. Ventajas y desventajas digestión aeróbica.

Fuente: Propia.

2.2.5 Espesado de lodos

La función del espesamiento es aumentar el contenido de sólidos del lodo, reducir el costo del tratamiento posterior y reducir el volumen a tratar. Las técnicas utilizadas para el espesamiento son: por gravedad, por flotación y por centrifugado.

2.2.5.1 Espesado por gravedad

Durante este proceso, los lodos pasan a través de tuberías de tanques circulares especialmente diseñados. Tienen una estructura similar a un decantador y un mecanismo giratorio con raspadores inferiores. El lodo permanece en el espesador durante varias horas, tiempo durante el cual se deposita en el fondo, dejando agua por un lado y lodo por el otro, que es aspirado. El agua que sale de este proceso se devuelve a la parte superior de la planta de tratamiento donde puede ser reprocesada. Este tipo de espesadores se utilizan en sedimentos primarios y secundarios por su capacidad de decantación, y también porque la concentración de residuos en el agua no supera el 2 o 2,5 % requerido para el correcto funcionamiento del espesador.

DBO³: cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra.

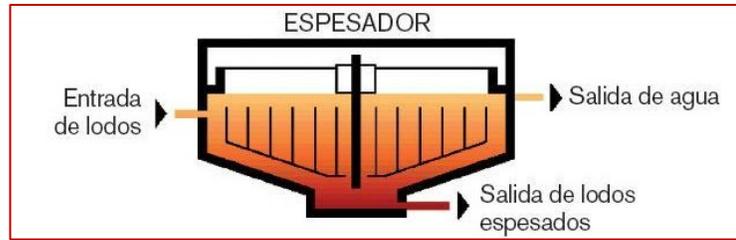


Imagen 3. Espesador por gravedad.

Fuente: Internet.

2.2.5.2 Espesado por flotación

Cuando se introduce aire comprimido en un líquido con cierto contenido de sólidos, algunas burbujas de aire se adhieren a los sólidos y hacen que se eleven. El barro, que es más pesado y no contiene burbujas, tiende a asentarse. El raspador de superficie luego elimina cualquier residuo que aún esté flotando en el líquido. El lodo sedimentado es recogido por un raspador de fondo y llevado al centro del tanque, donde es absorbido.

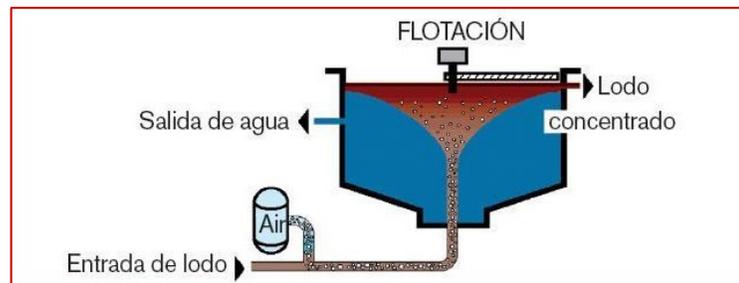


Imagen 4. Espesador por flotación.

Fuente: Internet.

2.2.5.3 Espesado por centrifugación

Se ha demostrado que la centrifugación es capaz de espesar una variedad de lodos de aguas residuales. Las centrifugas son una unidad compacta, simple, flexible e independiente. Tienen las desventajas de altos costos de capital, mantenimiento y energía y, a menudo, una baja eficiencia de captura de sólidos si no se utilizan productos químicos para los lodos negros.

El espesamiento centrífugo es la aceleración de la sedimentación mediante el uso de fuerza centrífuga. Normalmente, el lodo primario no se alimenta a la centrifugadora, ya que puede contener material abrasivo. Además de ser eficaces para espesar, tienen la ventaja de que requieren menos espacio, menos olor potencial y requisitos de limpieza.

2.2.6 Secado del lodo

Su propósito es eliminar el agua del lodo para convertirlo en una pasta dura, fácil de usar y portátil. El sistema depende de la cantidad de suciedad y tierra disponible.

2.2.6.1 Era del secado

El primer sistema que se utilizó fue el de la “era del secado” por su sencillez y bajo costo. El procedimiento consiste en colocar el gránulo seco sobre una superficie externa con buen drenaje. La altura de la capa de expansión varía según la naturaleza de la suspensión. En el caso de los lodos municipales fermentados, se depositan en capas de 20 a 30 cm de espesor. La zona de la era varía según el clima de la zona. El residuo de la torta generalmente se seca cuando su contenido de humedad cae por debajo del 40%. Se puede usar un puente raspador que corre sobre los rieles para eliminar los residuos de la rueda.

Para plantas de tratamiento de aguas residuales para grandes poblaciones de gran área, la torta resultante suele contener alrededor del 25% del peso seco. Después de que el lodo se seque, se puede transportar a un vertedero y quemarse o utilizarse como suplemento del suelo.

2.2.6.2 Deshidratación mecánica

La deshidratación es responsable de eliminar el agua del lodo en gran medida. Existen varios tipos de máquinas deshidratadoras de lodos los más utilizados son:

- **Filtro prensa de banda:** Esta es una forma común de secar sólidos biológicos. El agua se extrae forzando la suspensión en movimiento sobre una superficie porosa (generalmente con una aspiradora en la parte posterior para ayudar a eliminar la humedad). El agua normalmente se devuelve al proceso de tratamiento y el lodo seco se retira para su posterior tratamiento.



Imagen 5. Filtro prensa de banda.

Fuente: Internet.

2.2.7 Normativa de lodos en Chile

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas pueden ser depositados en rellenos sanitarios previo a tratamiento, o puede ser aplicado en suelos como fertilizantes debido a su alto contenido de materia orgánica.

El Decreto Supremo N°4/2009, “*Establece las exigencias sanitarias y ambientales mínimas para el manejo de lodos, así como restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en suelos*” [5].

2.2.8 Reutilización de lodos en el mundo

A nivel mundial, la cobertura del tratamiento de aguas residuales es significativamente menor que la cobertura del suministro de agua potable, y la cobertura del tratamiento de lodos es aún menor. Sin embargo, esta situación está cambiando, y las leyes de varios países han establecido condiciones para la reutilización de los lodos de depuradora. Algunos casos especiales se describen a continuación:

1) Argentina

Se han introducido instalaciones de compostaje de lodos residuales para su uso posterior como biosólidos en la agricultura.

2) Dinamarca

La mayor parte del lodo estabilizado se utiliza como fertilizante para tierras de cultivo. La tasa de reciclaje de lodos de depuradora es del 72%, 20% para incineración y 8% para eliminación.

3) España

La recogida selectiva de residuos urbanos y residuos orgánicos industriales, aguas residuales y lodos de las estaciones depuradoras se destina al uso agrícola, por considerarse el destino más adecuado para este tipo de residuos. Perspectivas ambientales y económicas. Se estudió el uso de lodos residuales para el control de la filtración de productos fitosanitarios en acuíferos.

4) Europa, Australia, Estados Unidos y otros países

Actualmente se estudia el uso de lodos especialmente tratados para evitar la contaminación de acuíferos con productos fitosanitarios y sus impurezas, y ayudará a acelerar la remediación de terrenos ya afectados. También se utilizan como fertilizante en tierras agrícolas.

5) México

Recientemente se aprobó la norma oficial de México para lodos y biosólidos, NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en su uso y disposición final.

2.3 LADRILLOS

2.3.1 Definición

El ladrillo es un material de construcción, generalmente cerámico, con forma de prisma rectangular, son de un tamaño pequeño que permite al operario colocarlo con una sola mano.

2.3.2 Orígenes del ladrillo

Se estima que el ladrillo como elemento de construcción tiene unos 11.000 años. Fueron utilizados por primera vez por los agricultores durante el período neolítico precerámico del Levante mediterráneo alrededor del 9500 a.C. en forma de adobe, porque en los lugares donde edificaron la ciudad, casi no había madera ni piedra.

Las hiladas de ladrillos más antiguas conocidas, anteriores al 7500 a. C., se han encontrado en varios sitios arqueológicos de Mesopotamia. Además, los ladrillos datados del 7000 al 6395 a.C., fueron encontrados en 1952 durante excavaciones en Jericó, el área del río Jordán y Chatal Huyuk.

Un logro importante en la industria de la construcción primitiva fue el ladrillo cocido, que comenzó a utilizarse alrededor del 3500 a.C. La quema le da la misma resistencia que una piedra, con la ventaja de su forma anterior. Los ladrillos fundidos son más baratos que el tallado en piedra, lo que reduce los costos de construcción.

2.3.3 Materias primas para su fabricación

La materia prima utilizada en la fabricación de ladrillos es principalmente arcilla. Esta sustancia se compone principalmente de cantidades variables de óxidos de hierro y otras sustancias alcalinas, como el óxido de calcio y el óxido de magnesio.

Las partículas de la sustancia pueden absorber hasta el 70% de su peso en agua. Cuando la arcilla está mojada tiene suficiente plasticidad para ser moldeada, y viceversa cuando está seca su apariencia es similar a la tierra.

2.3.4 Normativa actual para ladrillos

Las características de los ladrillos cerámicos comercializados en nuestro país, están regulados por diversas normas chilenas. Los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos de fabricación industrial destinados al empleo en construcciones están contenidos en NCh 169, Of2001: “*Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos*” [6]. En la NCh167, Of2001: “*Construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos*” [7], se podrán ver los tipos de ensayos a los que deben ser sometidos los

ladrillos para la verificación de los requisitos que se deben cumplir. La NCh 2123, Of1997 (Modificada 2003): “Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo” [8], establece la clasificación y los requisitos que deben cumplir los ladrillos de fabricación artesanal.

2.3.5 Proceso de elaboración del ladrillo

Actualmente, en la producción de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estandarizados, desde la selección de la materia prima arcillosa hasta el proceso de envasado final.

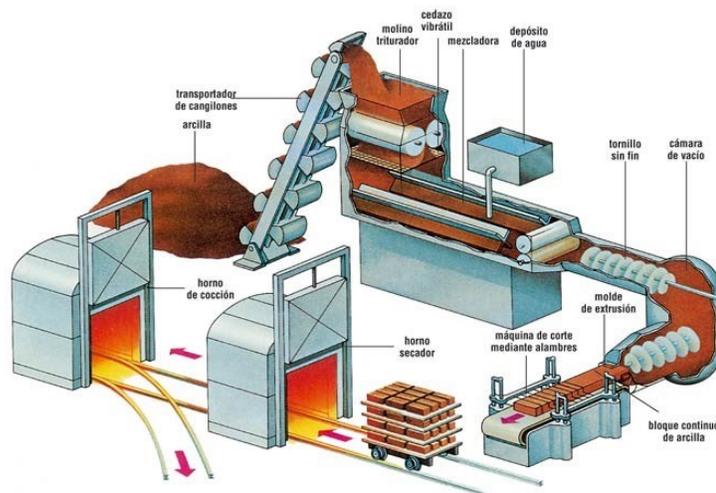


Imagen 6. Proceso de elaboración del ladrillo.

Fuente: RYA ladrillos [9].

2.3.5.1 Maduración

Antes de que la arcilla entre en el ciclo de producción, debe pasar por ciertos pasos de procesamiento, como moler, homogeneizar y dejarla al aire libre, para obtener la consistencia adecuada, el secado y la uniformidad de las propiedades físicas y químicas deseadas.

El propósito del descanso externo es facilitar la disgregación y disolución de los nódulos para evitar la aglomeración de partículas de arcilla. La exposición a las influencias atmosféricas (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) también favorece la descomposición de cualquier materia orgánica que pueda estar presente y permite la depuración química y biológica. De esta manera, se obtiene un material completamente inerte sin cambios mecánicos o químicos posteriores

2.3.5.2 Preelaboración

Luego de la maduración que ocurre en el área de almacenamiento, le sigue una etapa inicial, que incluye una serie de actividades encaminadas a la limpieza y refinación de las materias primas. Las herramientas utilizadas para el pretratamiento, para el procesamiento puramente mecánico son:

- **Máquina voluminosa:** Como su nombre indica, se utiliza para reducir el tamaño de bloques con un diámetro de 15-30 mm.
- **Separador de rocas:** Suele estar formado por dos cilindros que giran a distintas velocidades capaces de separar la arcilla de la roca conocida como “china”.
- **Máquina de descomposición:** Se encarga de triturar bloques más grandes, más duros y compactos, gracias a la acción de una serie de cilindros dentados.
- **Molino de Refinación:** Consiste en dos cilindros circulares lisos montados sobre ejes paralelos, con un espacio entre ellos de 1 a 2 mm, espacio por donde pasa la lechada, sometida a trituración y planchado para reducir el grano. En esta etapa final, se trituran los últimos nódulos que puedan quedar dentro del material.

2.3.5.3 Depósito de materia prima procesada

A la fase de pretratamiento le sigue el depósito del material en silos especiales en un área protegida, donde el material es inequívocamente homogéneo en su apariencia externa y propiedades físicas y químicas.

2.3.5.4 Humidificación

Antes de continuar con el proceso de moldeo, la lechada se saca del silo y se traslada a un molino de refinación, y luego a un mezclador de hidratación, donde se le agrega agua para obtener el contenido de humedad correcto.

2.3.5.5 Moldeado

El moldeado implica pasar la mezcla de lodo a través de una boquilla al final de la estructura (extrusión). La boquilla es una placa que se perfora según la forma del objeto a fabricar.

El moldeo en caliente se suele realizar con vapor saturado a unos 130°C y bajo presión reducida. De esta forma se obtiene una humedad más uniforme y un menor volumen, ya que el vapor tiene mayor poder de penetración que el agua.

2.3.5.6 Secado

El secado es una de las etapas más delicadas del proceso de fabricación. De este paso depende en gran medida el buen resultado y la calidad del material, más que nada de la ausencia de grietas. El objetivo del secado es eliminar la cantidad de agua añadida durante la fase de prensado para pasar a la fase de cocción.

Esta etapa tiene lugar en el secadero que puede ser de diferentes tipos. A veces el aire circula de un extremo al otro dentro de la secadora, otras veces es el material el que circula dentro de la secadora sin generar corrientes de aire. Lo más habitual es que la eliminación del agua de las materias primas se realice mediante soplado de aire caliente con una humedad variable. Esto ayuda a evitar choques térmicos húmedos que pueden resultar en pérdida de masa de agua a diferentes velocidades dependiendo de las áreas del material y, por lo tanto, grietas localizadas.

2.3.5.7 Cocción

Se elabora en hornos túnel, cuya longitud en algunos casos puede alcanzar los 120 metros, la temperatura de la zona de cocción varía entre los 900°C y los 1000°C.

Dentro del horno la temperatura cambia constante y uniformemente. Los ingredientes secos se colocan en carros especiales, en paquetes estándar, y se alimentan a través de un extremo del túnel, saliendo por el extremo opuesto cuando se cocinan.

La sinterización ocurre durante el proceso de cocción, por lo que la cocción es una de las etapas importantes del proceso en términos de durabilidad del ladrillo.

2.3.5.8 Almacenaje

Antes de empacar, los paquetes se forman en pallets, para ser transportados fácilmente por carretilla elevadora. El embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas plásticas o metálicas, para que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento hasta su transporte al lugar de trabajo.

2.3.6 Clasificación de los hornos para cocción de ladrillos

Cuanto más grande sea el ladrillo, más lentamente debe subir la temperatura y así también enfriarse; Los productos que se enfrían lentamente suelen ser duros y muy resistentes a la acción mecánica y, por el contrario, el enfriamiento rápido los vuelve quebradizos, tanto que, si se enfrían demasiado rápido, en ocasiones se rompen espontáneamente sin la intervención de factores mecánicos externos.

Las consideraciones anteriores, además de las derivadas de necesidades de capacidad, en mayor o menor medida, permanencia de operación, aplicabilidad o modificación, se tendrán en cuenta en el tipo de horno utilizado, para su selección o diseño. Los hornos de ladrillos se pueden clasificar en:

2.3.6.1 Hornos intermitentes

2.3.6.1.1 Horno rural

Este tipo de horno de campaña es bastante robusto y consta de cuatro paredes gruesas, correspondientes a una planta rectangular sin techo. La altura del horno oscila entre 3,5 y 4 metros. Los lados longitudinales tienen aberturas para permitir que la llama continúe en el interior y conduzca los productos de la combustión. El consumo de combustible de estos hornos es bastante alto.

2.3.6.1.2 Horno de llama rasante

Se diferencia del anterior en que tiene un diseño alargado, requiere menos fuego y obliga a la llama a extenderse horizontalmente a través de los ladrillos, para lo cual es necesaria una chimenea.

2.3.6.1.3 Hornos redondos o de llama invertida.

Se utiliza principalmente para la cocción de materiales especiales, como tejas, ladrillos, tejas vidriadas, tuberías, etc., que requieren una temperatura de combustión elevada. Una ventaja de tales hornos es que el combustible y sus desechos no entran inmediatamente en contacto con el producto.

2.3.6.2 Hornos continuos con zona móvil de cocción

2.3.6.2.1 Horno anular de Hoffmann

El horno Hoffmann original constaba de un pórtico circular de aproximadamente 44 metros (144 pies) de largo, con doce amortiguadores distribuidos uniformemente alrededor de la pared exterior y 12 entradas de humo controladas por un amortiguador en la pared interior. Los conductos se abren a una cámara que transporta humo, y de allí pasa a la chimenea. Este tipo de horno diseñado para cocer ladrillos puede soportar el contacto cercano con el combustible en llamas y la energía se suministra a través de aberturas en el techo.

2.3.6.3 Hornos continuos con zona fija de cocción

2.3.6.3.1 Hornos de túnel

El diseño de este horno responde a la idea de crear una zona de laboratorio o llama constante y pasar por ella los productos cocidos. Esto implica, al menos, el beneficio inicial de ahorro calórico, pérdida por enfriamiento y sobrecalentamiento en las cavidades de los hornos anulares existentes. Además, existe un importante ahorro de mano de obra para la carga y descarga de ladrillos en carros que giran por el horno, mayor velocidad de cocción al no ser necesario enfriar y recalentar el área de combustión, y se duplica la economía solo en el área antes mencionada. Ladrillos refractarios, de fácil mantenimiento para el horno cuando se alcanza la velocidad de cocción y la economía de terreno para una forma determinada.

2.3.7 Clasificación de ladrillos

Según sus propiedades físicas y mecánicas, los ladrillos cerámicos se clasifican en clases y grados. Se pueden fabricar en diferentes medidas estándar con tolerancias que van desde los 2 hasta los 4 mm. Por acuerdo entre el fabricante y el comprador, podrán obtenerse medidas diferentes a las de la norma, sujetas a las tolerancias aceptadas por la NCh 169.

2.3.7.1 Clasificación por clases



Imagen 7. Tipos de ladrillos.

Fuente: Imágenes Google.

2.3.7.1.1 Ladrillos macizos hechos a máquina (MqM)

NCh 169 (2001), “*Unidades macizas sin perforaciones ni huecos*” [6].

Este tipo de ladrillo se crea mediante el proceso industrial de amasado, moldeado y prensado de arcilla. Sólo aceptan agujeros perpendiculares en sus caras mayores igual o inferior al 5% del volumen total.

2.3.7.1.2 Ladrillos perforados hechos a máquina (MqP)

NCh 169 (2001), “Unidades que poseen perforaciones y huecos, regularmente distribuidos, cuyo volumen es mayor o igual al 50% del volumen bruto o total” [6].

Este tipo de ladrillo se crea mediante el proceso industrial de amasado, moldeado y prensado de arcilla. Aceptan agujeros perpendiculares en sus caras mayores superior al 5% e inferior al 45% de la masa total, con un revestimiento de al menos 10 mm.

2.3.7.1.3 Ladrillos huecos hechos a máquina (MqH)

NCh 169 (2001), “Unidades que poseen huecos y perforaciones, regularmente distribuidos, cuyo volumen es mayor o igual al 50% del volumen bruto o total” [6].

Este tipo de ladrillo se crea mediante el proceso industrial de amasado, moldeado y prensado de arcilla. Aceptan agujeros perpendiculares en sus caras mayores superior al 45% de la masa total, con un revestimiento de al menos 10 mm.

Existen 2 variedades:

- **MqHh:** Con huecos horizontales paralelos a la cara de apoyo.
- **MqHv:** Con huecos verticales perpendiculares a la cara de apoyo.

2.3.7.1.4 Ladrillos cerámicos hechos a mano (MnM)

Es del tipo que se hace a mano sin presionar la masa.

El sitio de producción está ubicado cerca del depósito de arcilla, donde se extrae y se harnea para eliminar partículas gruesas (alrededor de 1,19 a 2 mm) y partículas extrañas más grandes (raíces, varillas, etc.).

2.3.7.2 Clasificación por grados

Según su resistencia y durabilidad se clasifican también en grados.

2.3.7.2.1 Grado 1

NCh 169 (2001), “Ladrillos de alta resistencia y durabilidad, adecuado para servicio extremo” [6].

2.3.7.2.2 Grado 2

NCh 169 (2001), “Ladrillos de resistencia y durabilidad moderada, adecuado para servicio norma” [6].

2.3.7.2.3 Grado 3

NCh 169 (2001), “Ladrillo de resistencia y durabilidad regular, adecuado para servicio medio” [6].

2.3.8 Requisitos mecánicos

En Chile, los ladrillos de fabricación industrial deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma NCh 169.

Requisitos mecánicos	Grados de los ladrillos cerámicos						
	1		2		3		
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima (Mpa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción del agua, máxima %	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima (Mpa) Area neta	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,25

LADRILLOS CERÁMICOS HECHOS A MANO (MnM)
Resistencia a la compresión, mínima 4 Mpa
Absorción del agua, máxima 22 %
Adherencia, mínima 0.18 Mpa

Tabla 5. Características de los ladrillos cerámicos.

Fuente: NCh 169 [6].

2.3.8.1 Resistencia a la compresión

2.3.8.1.1 Aparatos utilizados

- **Prensa de ensayo:** Provista de rotulas y platos que garanticen una distribución uniforme de la carga.

2.3.8.1.2 Procedimiento de ensayo a compresión

1. El tamaño mínimo de la muestra debe estar provista de 6 unidades de ladrillo.
2. Las probetas deben estar secas, de no ser así se deben secar en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 hrs.
3. Las caras se deben pulir o refrentarse con azufre, con el objeto de mantener paralelismo y planeidad en las caras de aplicación de la carga.
4. Se debe limpiar las superficies de apoyo de la máquina de ensayo y se dispone el ladrillo en el centro de las placas.
5. Se aplica una carga de esfuerzo normal a una velocidad de carga no superior a 20 MPa/min.
6. Las lecturas de carga se deben aproximar a $\pm 1\%$.

2.3.8.1.4 Resultados

La resistencia a compresión de cada ladrillo se obtiene dividiendo la carga máxima de ruptura por la superficie media de sus dos caras de apoyo (sin descontar los orificios), siendo expresada en MPa, con aproximación a 0,1 MPa. Se debe indicar los resultados individuales y su valor promedio el cual representa la resistencia a la compresión de los ladrillos cerámicos.

2.3.8.2 Absorción de agua

2.3.8.2.1 Aparatos utilizados

- **Balanza:** Sensibilidad de 0,5 gr.

2.3.8.2.2 Procedimiento de ensayo de absorción de agua

1. El tamaño mínimo de la muestra debe estar provista de 6 unidades de ladrillo.
2. Las unidades deben estar secas hasta masa constante en horno ventilado a temperatura de 110°C a 115°C . Se considera peso constante (P_1) cuando dos pesadas sucesivas no difieran en más de un 0,1%.
3. Los ladrillos se sumergen en agua potable durante 24 hrs.
4. Sacar los ladrillos del recipiente, dejar estilar durante 5 minutos, secar superficialmente la superficie y pesar (P_2).

2.3.8.2.3 Resultados

La absorción de cada ladrillo se calcula según la fórmula siguiente:

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100$$

En que:

A = Absorción de agua, en %;

P₁ = Masa del ladrillo seco, en kg;

P₂ = Masa del ladrillo saturado, en kg.

Como resultado se deben entregar los valores individuales y su el valor promedio de las probetas, el que representa la absorción de los ladrillos.

2.3.8.3 Adherencia a Cizalle

2.3.8.3.1 Aparatos utilizados

- **Prensa de ensayo:** Provista de rotulas y platos que garanticen una distribución uniforme de la carga.

2.3.8.3.2 Procedimiento de preparación de probetas

1. El tamaño mínimo de la muestra debe estar provista de 18 unidades de ladrillo que luego se transformaran en 6 probetas compuestas de 3 ladrillos unidos por mortero.
2. El mortero utilizado para adherir los ladrillos debe estar confeccionado de la siguiente manera:
 - Arena: 3 partes en peso
 - Cemento: 1 parte en peso
 - Razón agua/cemento: 0.60
 - Arena tamaño máximo: 2,5 mm
3. Previo a la confección de probetas las unidades deben estar saturadas superficialmente, durante al menos 30 min.
4. Colocar el ladrillo sobre una superficie plana y nivelada horizontalmente, extender sobre él una capa de mortero de aproximadamente 20 mm de espesor. A continuación, se coloca el ladrillo central, ejerciendo una presión uniforme en toda el área de contacto de manera de obtener un espesor de junta de 10 mm.
5. Transcurrida 1 hora de espera y luego de humectar la base del ladrillo central colocar la segunda capa de mortero e incorporar el tercer ladrillo, repitiendo el procedimiento descrito anteriormente.
6. Mantener las probetas cubiertas con polipropileno durante un periodo de 7 días, hasta el momento del ensayo.

2.3.8.3.3 Procedimiento de ensayo de adherencia a cizalle

1. Refrentar con una pasta de yeso-cemento la base de apoyo y la de aplicación de carga en proporción 1:1 en peso.
2. El refrentado debe asegurar planeidad y paralelismo. La capa de refrentado no debe ser mayor que 10 mm.
3. El refrentado se debe realizar por lo menos 48 hrs antes del ensayo.
4. El ensayo debe realizarse controlando la velocidad de aplicación de carga, la cual no debe ser mayor de 1 MPa por minuto.

2.3.8.3.4 Resultados

La tensión de adherencia se calcula según la siguiente expresión:

$$A = \frac{P}{S}$$

En que:

A = Adherencia, en MPa;

P = Carga máxima, en N;

S = Área bruta total de las superficies de pega, en mm².

Como resultado se deben entregar los valores individuales y su el valor promedio de las probetas, el que representa la adherencia de los ladrillos.

2.3.9 Economía del ladrillo

La fabricación artesanal de ladrillos se ha convertido en un problema ambiental en muchas ciudades del país, debido a que estos productos utilizan combustibles: madera, llantas, madera, plástico o textiles, etc., que al quemarse liberan gran cantidad de gases a la atmósfera, como el carbón. monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas, por lo que se necesitan otros combustibles para satisfacer las necesidades energéticas de los productos de cocción y sustituir a los utilizados hasta ahora. Los hornos túnel discontinuos utilizan gas natural y son la mejor opción para la producción de ladrillos porque producen menos gases contaminantes y distribuyen mejor la energía que los hornos de leña, lo que se traduce en una mayor eficiencia de cocción de este producto. Además, el uso de este combustible puede reducir los costos de producción. Con el fin de aprovechar mejor las materias primas, se analizó el uso de mezcladoras en el proceso productivo con el fin de obtener una mezcla más homogénea, que permita un uso eficiente de los recursos utilizados (aserrín, arcilla y agua). La introducción de una tecnología alternativa en la producción de ladrillos es efectiva

porque reducirá el impacto del factor aire en el medio ambiente y, por lo tanto, reducirá los costos utilizados en el proceso de producción en masa.

2.3.9.1 Estadísticas de producción

La producción de ladrillos se establece en alrededor de 6,1 millones de unidades al año por fábrica.

Las principales características de estas son:

- Consumo anual de arcilla: 18.886 toneladas.
- Consumo anual de agua: 1.800 metros cúbicos.
- Consumo anual de combustible: 860.000 litros.
- Consumo anual de electricidad: 352.800.

Las características técnicas incluyen:

- Sistema mecanizado de extracción y almacenamientos de materia prima.
- Formado con una extrusora de vacío.
- Suministros y dosificación de materias primas, mecanización y regulación automática.
- Secado en cámaras túnel a contracorriente con aire recuperado de la etapa de combustión.
- Cocido en un horno de túnel.

El análisis económico financiero muestra que la rentabilidad es del 162,75%, los beneficios socioeconómicos se refieren principalmente a:

- Cubrir la demanda insuficiente sin interrumpir la producción de los productores existentes.
- Obtener un artículo de mejor calidad para la construcción de viviendas de mejor calidad.



Imagen 8. Depuradora más grande del mundo.

Fuente: Internet.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el contexto de la presente memoria se desarrolla un modelo investigativo basado en la experimentación, donde se analizará la factibilidad de la utilización de lodos negros provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas para la fabricación de ladrillos. En este estudio se lleva a cabo en primer lugar el análisis de esta nueva materia prima y posteriormente ensayos fisicoquímicos de los ladrillos que serán confeccionados.

3.1.1 Variables de Análisis

En todo proyecto investigativo, se deben identificar variables de análisis, y estas se deben clasificar según distintos parámetros, indicadores y métodos que puede llegar a presentar durante la investigación. En la tabla siguiente se indican las variables observables en este proceso investigativo.

	HIPÓTESIS 1	HIPÓTESIS 2	HIPÓTESIS 3
VARIABLE INDEPENDIENTE	Tipo de ladrillo.	Temperatura de cocción.	Cantidad de lodo Negro utilizado.
VARIABLE DEPENDIENTE	% de lodo seco.	Resistencia y dureza del ladrillo.	Característica Físico Mecánicas.
VARIABLE INTERVINIENTE	Reducción de agua y preparación adecuada.	Grados Celsius.	Estudios Mecánicos.
VARIABLES EXTRAÑAS	Porcentaje de agua y lodo.	Cambios de temperaturas.	Porcentajes de materias primas.
INDICADORES	Consistencia y forma del ladrillo.	Grados de cocción de cada ladrillo.	% de lodo utilizado para la preparación de ladrillos.
MÉTODOS	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de laboratorios. • Ensayos de laboratorios. 		

Tabla 6. Variables de Análisis - Indicadores – Métodos.

Fuente: Propia.

3.1.2 Hipótesis

En todo estudio investigativo se pretende analizar o comprobar una afirmación o pregunta planteada es por esta razón que se plantean las siguientes hipótesis.

HIPÓTESIS 1	El lodo negro permite crear materia prima para la fabricación de ladrillos con características similares a ladrillos artesanales.
HIPÓTESIS 2	La cocción de ladrillos de lodo negro a una temperatura media de hasta 200°C entrega mayor resistencia a los ladrillos.
HIPÓTESIS 3	Los ladrillos creados con a lo más un 10 % de lodo negro proveniente de las plantas de tratamiento de aguas servidas tienen características físico mecánicas aptas para el uso en la construcción.

Tabla 7. Hipótesis.

Fuente: Propia.

3.1.3 Metodología (Diagrama y explicaciones)

Se comenzará realizando en el laboratorio el análisis de lodo negro proveniente de la planta de tratamiento de aguas servidas Nuevosur para determinar si este no contiene elementos dañinos para la salud al momento de ser reducida su humedad en hornos y posteriormente determinar si es apto para el uso en la fabricación de un material constructivo obteniendo a través de ensayos sus características físicas y mecánicas, como la absorción de agua, plasticidad y rigidez. Continuamente se analizarán diferentes dosificaciones de materias primas para la fabricación de los ladrillos en las cuales se variará entre un 5% y 10% el porcentaje de lodo a utilizar en estos con el cual se construirán 40 muestras de ladrillos con dimensiones 30x15x5.5cm, para su posterior cocción en hornos a variación de temperatura de hasta los 200° así determinar el grado de efectividad de esta para la calidad de estos. Finalizando con análisis fisicoquímicos de cada una de las muestras como lo son de compresión (4 muestras), absorción de agua (4 muestras) y adherencia a cizalle (12 muestras).

Una vez obtenidos cada uno de los resultados se procederá a la graficación de los datos donde se podrá respaldar y justificar cada una de las hipótesis planteadas, cumpliendo así con los plazos establecidos y obteniendo las conclusiones esperadas.



Imagen 9. Moldaje 30x15x5.5 cm.

Fuente: Propia.

3.2 TRABAJO DESARROLLADO

3.2.1 Plan de trabajo

El trabajo investigativo a desarrollar cuenta con un total de 6 tareas principales en las cuales destaca la obtención de lodo, secado de lodo, elaboración de ladrillos, cocción de ladrillos, ensayos de laboratorio, resultados y conclusiones. De las cuales se cuenta con un plazo de termino de 48 días no corridos iniciando el jueves 01 de septiembre y terminando el día viernes 04 de noviembre del presente si no se presentan complicaciones y atrasos en las tareas críticas.

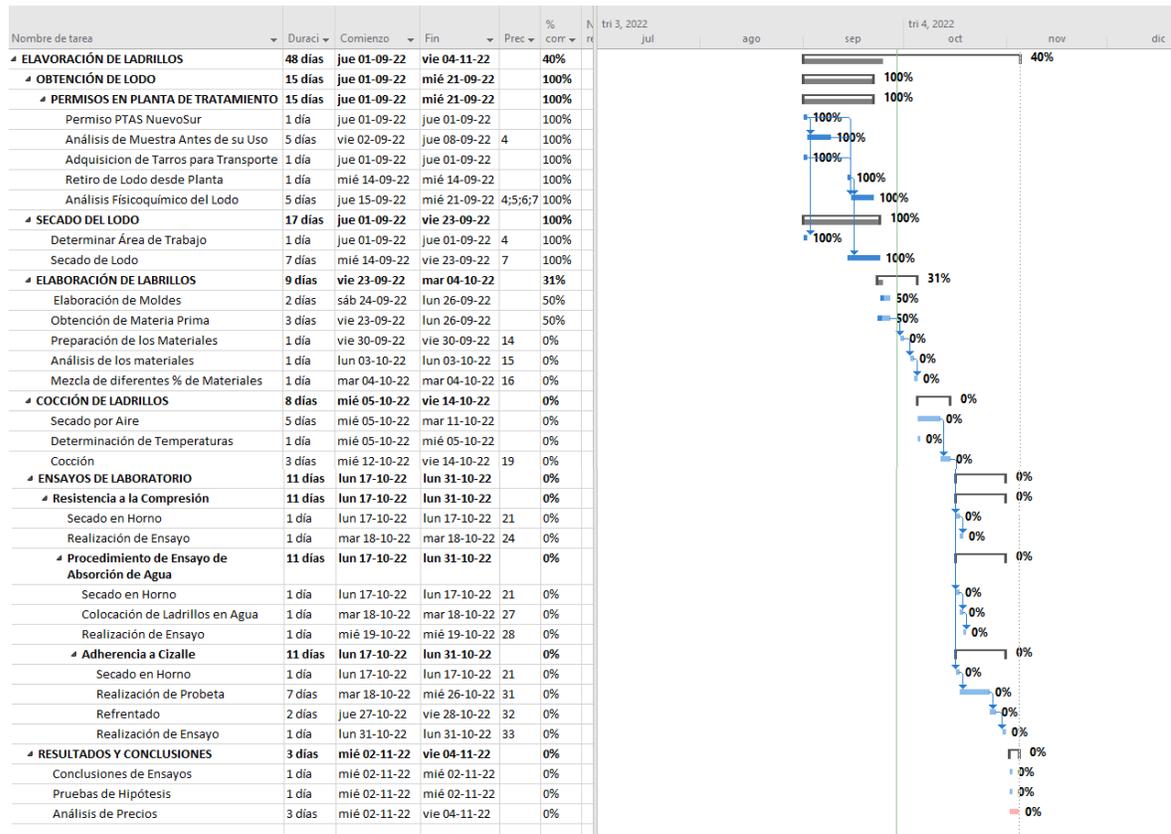


Imagen 10. Carta Gantt.

Fuente: Propia.

3.2.2 Desarrollo de actividades

3.2.2.1 Retiro de lodo desde planta

Se comenzó retirando el lodo de la planta de tratamiento de aguas servidas Nuevosur en pequeñas cantidades debido a que este es secado en horno de laboratorio y con el paso de los días se comienzan a descomponer sus bacterias lo que lo hace imposible de trabajar.



Imagen 11. Lodo con un porcentaje de humedad del 83%.

Fuente: Propia.

3.2.2.2 Análisis de muestra antes de su uso

Al traer la primera muestra de lodo se le realizó un análisis bacteriológico (Anexo 1) el cual determinó que este contenía Rto. Escherichia Coli basado en la ISO 16649-2:2001 y Salmonella 4 gr basado en la NCH 2675. Of 2002, por lo que se determinó secar el lodo en hornos a una temperatura de 140°C y no de manera artesanal, ya que se averiguó que esta ralentiza su crecimiento a través de la congelación y el calor a partir de 70°C la destruye.

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO
Rto. Escherichia Coli	ISO 16649-2:2001	$4,7 \times 10^4$ ucf/g
Determinación de Salmonella 4 gr	NCH 2675. Of 2002	Presencia
Huevos de Helmitos Viables	Sheather modificada	Ausencia

Tabla 8. Resultados muestra 1.

Fuente: Propia.

Una vez colocado en el horno es dejado ahí por 24 horas y se obtiene un material completamente seco con una consistencia similar a la de una piedra por su dureza.



Imagen 12. Secado del lodo en horno - Lodo seco.

Fuente: Propia.

Para lograr determinar la ausencia de cualquier tipo de bacteria en el lodo con el cual se va a trabajar se realizó nuevamente el estudio bacteriológico (Anexo 2), determinándose que ya no se presentan en él, ninguna de las muestras encontradas en el estudio anteriormente realizado.

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO
Rto. Escherichia Coli	ISO 16649-2:2001	<10* ucf/g
Determinación de Salmonella 4 gr	NCH 2675. Of 2002	Ausencia
Huevos de Helmitos Viabes	Sheather modificada	Ausencia

Tabla 9. Resultados muestra 2.

Fuente: Propia.

3.3.3 Resultados primarios, iniciales

3.3.3.1 Estudio de la materia prima

3.3.3.1.1 Densidad del lodo

La densidad es la relación entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa (esa misma sustancia). Es decir:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

donde:

m = masa, en gramos

v = volumen, en ml

Se determinó la densidad de una muestra de lodo ya seco en horno a través del método de la probeta o desplazamiento del volumen, en el cual la masa de lodo fue incorporada en un recipiente graduado el cual contenía un volumen exacto de agua, obteniéndose el volumen a partir de las diferencias de muestras de 23 ml. La masa de lodo fue pesada de la cual se obtuvo 25 gr.

$$\rho = \frac{25 \text{ gr.}}{23 \text{ ml}} = 1,08 \text{ gr./ml}$$

A través de esto se pudo determinar que la densidad del lodo negro es 1,08 gr./ml



Imagen 13. Densidad del lodo.

Fuente: Propia.

3.3.3.1.2 Porcentaje (%) de humedad del lodo

Se determinó el contenido de humedad presente en el lodo desde la planta de tratamiento de aguas servidas.

$$w(\%) = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} * 100\%$$

Donde:

Ph = peso húmedo, en gramos.

Ps = peso seco, en gramos.

$$w(\%) = \frac{(2.296 \text{ gr} - 1.367 \text{ gr})}{1.367 \text{ gr}} * 100\% = 67,96\%$$

De este modo se logró determinar que el porcentaje de humedad presente en la muestra al momento de ser extraída de la planta corresponde a un 67,96% del peso de este, siendo este menor al informado en los informes de la planta de tratamiento.



Imagen 14. Peso húmedo y seco del lodo.

Fuente: Propia.

3.3.3.1.3 Granulometría del lodo

Se procedió a determinar el porcentaje de material que pasa por diferentes medidas tamices de acuerdo con la NCH 1022 y sus tamaños de abertura nominales desde 150 mic hasta 9,5 mm.

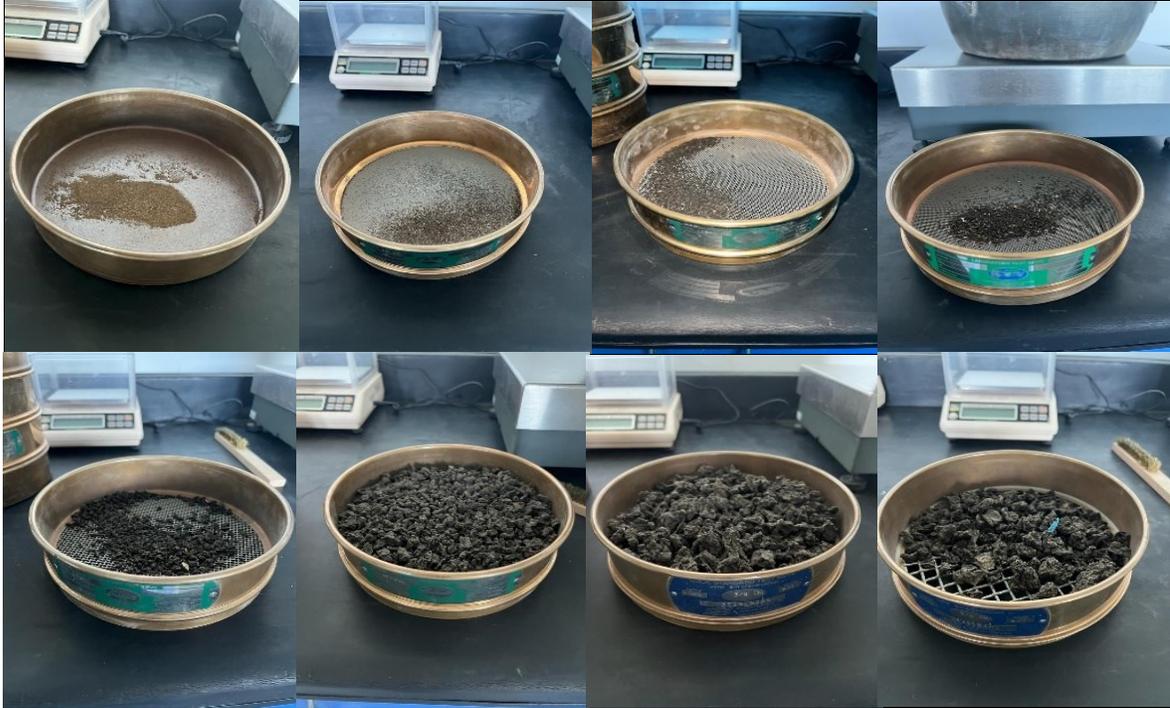


Imagen 15. Granulometría del lodo.

Fuente: Propia.

MALLA	MATERIAL QUE PASA (GR.)	%
150 MIC	26,9	0,33
300 MIC	51,4	0,63
600 MIC	100,6	1,24
1,18 MM	227,9	2,81
2,36 MM	429,2	5,29
4,75 MM	1.013,2	12,49
9,5 MM	2.693,4	33,19
9,5MM (RETENIDO)	3.571,8	44,02
TOTAL, EN GRAMOS	8.114,4	100
TOTAL, EN KILOS	8,114	100

Tabla 10. Material que pasa.

Fuente: Propia.

De esta manera el lodo seco fue dividido en 2 recipientes con material granular de 150 mic a 2,36mm definido como pequeño y el otro de 4,75mm a 9,5mm definido como grande.

3.3.3.2 Confección de ladrillos

La fabricación de ladrillos, requiere de la ejecución de varias etapas las cuales se concentran en la obtención de materias primas, mezcla, confección y cocción de los ladrillos.

La dosificación del ladrillo fiscal artesanal cabe señalar que en Chile no está establecida y normada, es por esta razón que se llevaron a cabo 3 nuevas dosificaciones diferentes, de las cuales se varió la incorporación de lodo a la mezcla final. Esta incorporación de lodo es de 5% y 10% de su peso en la mezcla formada, siendo completado el restante de la mezcla con 2 dosificaciones distintas la primera mezcla de cal hidráulica, tierra de color, arena y 10% de lodo negro y la segunda mezcla arcilla roja, 5% y 10% de lodo negro.

	LODO NEGRO	CAL HIDRÁULICA	ARENA	TIERRA COLOR
DOSIFICACIÓN N°1	10%	35%	50%	5%

Tabla 11. Dosificación 1.

Fuente: Propia.



Imagen 16. Mezcla cal hidráulica, tierra de color, arena y 10% de lodo.

Fuente: Propia

	ARCILLA Y ARENA	LODO NEGRO
DOSIFICACIÓN N°2	90%	10%
DOSIFICACIÓN N°3	95%	5%

Tabla 12. Dosificaciones 2 y 3.

Fuente: Propia.

La sumatoria de las dosificaciones de cada una de las 3 mezclas de ladrillos consta de un total de 20 kilogramos con un porcentaje de humedad añadida del 40%. Es decir, se agregó a las mezclas secas un total de 8 litros de agua a cada una.

DOSIFICACIÓN N°1	LODO NEGRO	CAL HIDRÁULICA	ARENA	TIERRA COLOR
	2 kilos	7 kilos	10 kilos	1kilo

Tabla 13. Dosificación 1 en kilogramos.

Fuente: Propia.

	ARCILLA Y ARENA	LODO NEGRO
DOSIFICACIÓN N°2	18 kilos	2 kilos
DOSIFICACIÓN N°3	19 kilos	1 kilo

Tabla 14. Dosificaciones 2 y 3 en kilogramos.

Fuente: Propia.



Imagen 17. Mezcla arcilla roja, 5% y 10% de lodo.

Fuente: Propia.

Una vez mezcladas las materias primas y confeccionada la pasta se procede a colocar el material en los moldes confeccionados, en el cual la mezcla es moldeada y dejado secar al aire dentro del molde por 5 minutos, posteriormente es desmoldado y dejado al aire sin que afecte el sol tan directamente la mayor parte del día por 4 días.



Imagen 18. Ladrillos de cal y 10% de lodo.

Fuente: Propia.



Imagen 19. Ladrillos de 5% y 10% de lodo.

Fuente: Propia.

En el proceso de desmolde de los ladrillos de dosificación 2 y 3 se pudo apreciar que esos si cumplían con la forma exigida, pero no la resistencia necesaria ya que se rompían con facilidad al intentar levantarlos apreciándose grietas en toda su superficie.



Imagen 20. Ladrillos de 5% y 10% de lodo, dosificación 2 y 3.

Fuente: Propia.

3.3.3.3 Cocción de ladrillos

La última etapa de confección de ladrillos consiste en la cocción la cual se realiza en hornos de laboratorio a una temperatura máxima de 200°C por un lapso de 5 días, revisando estos cada 24 horas.



Imagen 21. Cocción de ladrillos dosificación 1 a 200°C.

Fuente: Propia.

En la etapa de la cocción se introdujeron en el horno los ladrillos de dosificación 1 y partes existentes de ladrillos de dosificación 2 y 3 para determinar si estos al ser cocidos cumplían con la resistencia necesaria y eran más firmes al simple tacto.



Imagen 22. Cocción de ladrillos dosificación 2 y 3 a 200°C.

Fuente: Propia.

En esta última etapa también se considera el enfriamiento de las piezas, el cual se realizó a velocidad controlada para evitar fracturas de los ladrillos, dejando estos en el horno por un periodo de 24 horas.



Imagen 23. Cocción de ladrillos pasados 6 días.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 DESGLOSE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.1.1 Programación

Para el análisis de los resultados se comenzó realizando las pruebas y ensayos de laboratorio de las muestras o probetas de ladrillos, de las cuales se analizó según la Norma Chilena 167 y 169, la absorción de agua y resistencia a compresión de estos, sin llevarse a cabo la adherencia a cizalle ya que en laboratorio no se cuenta con la máquina para la realización de este ensayo.

Para así posteriormente realizar una comparativa de los análisis obtenidos y desarrollar las respectivas conclusiones.

4.1.2 Análisis de estructuras

Cabe mencionar que los ensayos solo fueron realizados a las muestras de ladrillos de dosificación 1 de las cuales con el periodo que se mantuvieron en horno estas se agrietaron y se partieron por la mitad, debido también a que al sacar del horno las muestras de ladrillos de dosificación 2 y 3 estas no habían adquirido mayor resistencia y se rompían aún más fácilmente al estar más secos.



Imagen 24. Ladrillos dosificación 2 y 3 al ser sacados del horno.

Fuente: Propia.

4.1.3 Levantamiento de datos

4.1.3.1 Absorción de agua

Se comenzó realizando el ensayo de absorción de agua a las 5 piezas de ladrillos de dosificación 1, donde de manera inicial se pesaron cada una de estas para lograr determinar la masa del ladrillo seco.



Imagen 25. Masa de ladrillos secos.

Fuente: Propia.

Posterior a la toma de peso de cada una de las 5 muestras se procedió a introducir estas en un balde con agua donde permanecieron por 24 horas. Posterior a esto fueron dejadas a la intemperie por un total de 5 minutos para dejar que el agua escurriera de estos y fueron secados por todas sus superficies.



Imagen 26. Absorción de agua.

Fuente: Propia.

A continuación, se pesaron las piezas con contenido de humedad en la balanza digital para lograr determinar la masa del ladrillo saturado.



Imagen 27. Masa de ladrillos saturados.

Fuente: Propia.

Finalmente se realizó la toma de datos de cada una de las muestras y se procedió al cálculo de los respectivos porcentajes de humedad adquiridos. Según fórmula de absorción de agua de la NCH169.

$$A = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100$$

En que:

A = Absorción de agua, en %;

P₁ = Masa del ladrillo seco, en kg;

P₂ = Masa del ladrillo saturado, en kg.

MUESTRA	MASA SECA EN KG	MASA SATURADA EN KG	% DE ABSORCIÓN
1	1.297	1.521	17.27
2	2.066	2.415	16.89
3	1.388	1.589	14.48
4	1.180	1.394	18.14
5	1.080	1.195	10.65
PROMEDIO			15.49

Tabla 15. Absorción de agua.

Fuente: Propia.

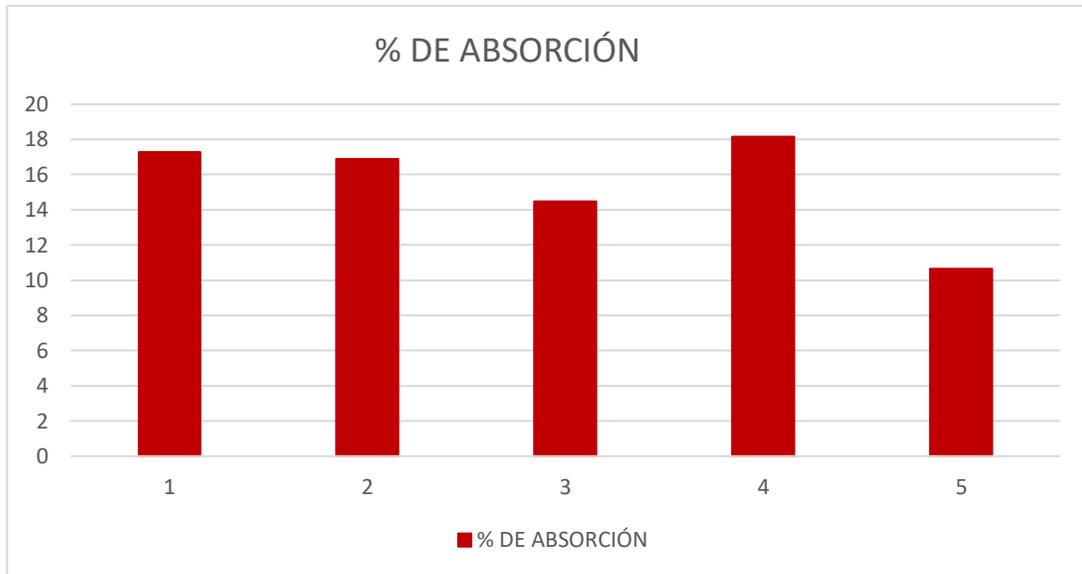


Gráfico 1. % de absorción.

Fuente: Propia.

Analizando cada uno de los datos obtenidos según (anexo 3) se puede resumir y concluir en la tabla 15 que las muestras tienen una adherencia promedio de 15.49%.

4.1.3.2 Resistencia a la compresión



Imagen 28. Muestra 6 probetas de ladrillos.

Fuente: Propia.

Para el análisis de las pruebas a compresión se analizaron 6 muestras de las cuales se procedió inicialmente midiendo su alto, ancho y largo con un pie de metro para lograr mayor precisión de cada una de las mediciones.

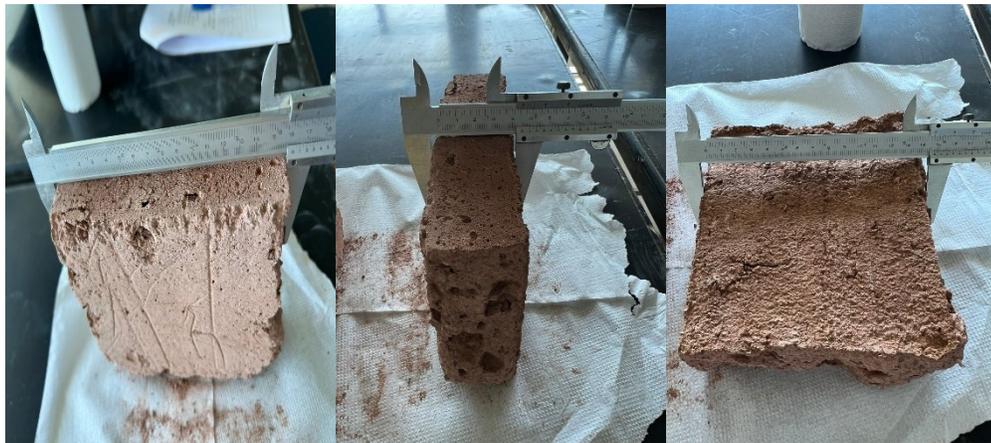


Imagen 29. Alto, ancho y largo de ladrillos.

Fuente: Propia.

Continuamente se pesaron las muestras en una balanza para tener un análisis más completo y detallado de cada una de las probetas para luego ser introducidos en la prensa de ensayo.



Imagen 30. Peso y ensayo de ladrillos.

Fuente: Propia.

Finalmente se realizó la toma de datos de cada una de las muestras en la prensa de ensayo y se procedió al cálculo de los respectivos valores individuales de compresión. Según la NCH169.

MUESTRA	LARGO MM	ANCHO MM	ALTO MM	PESO KG	ÁREA MM ²
1	161.7	147.4	45.3	1.6	23834.58
2	178.3	146.6	50	1.8	26138.78
3	124.4	147.2	48.8	1.2	18311.68
4	156.3	148.6	46.2	1.6	23226.18
5	140	147.9	42	1.2	20706
6	134	146.9	48.4	1.3	19684.6
7	165.5	146.4	46.9	1.7	24229.2

Tabla 16. Medidas y peso de las probetas.

Fuente: Propia.

MUESTRA	CARGA KN	TIEMPO DE ENSAYO MIN.	RESISTENCIA N/MM ²
1	0.91	0:58	0.05
2	1.60	1:19	0.06
3	4.32	1:32	0.24
4	27.5	1:39	1.18
5	90.0	1:59	4.35
6	47.5	2:37	2.41
7	1.50	1:38	0.06
PROMEDIO			1.19

Tabla 17. Resultados de ensayos.

Fuente: Propia.

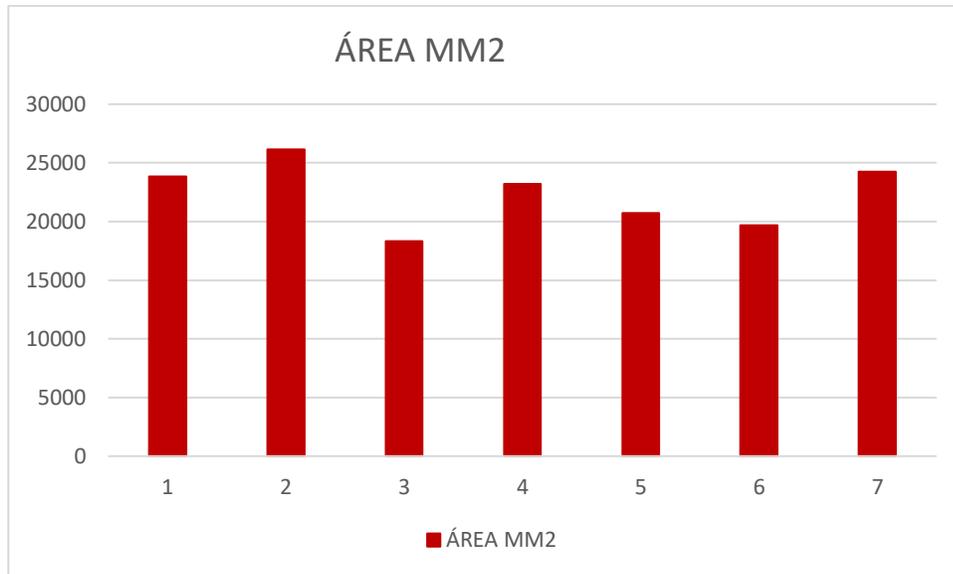


Gráfico 2. Área MM².

Fuente: Propia.

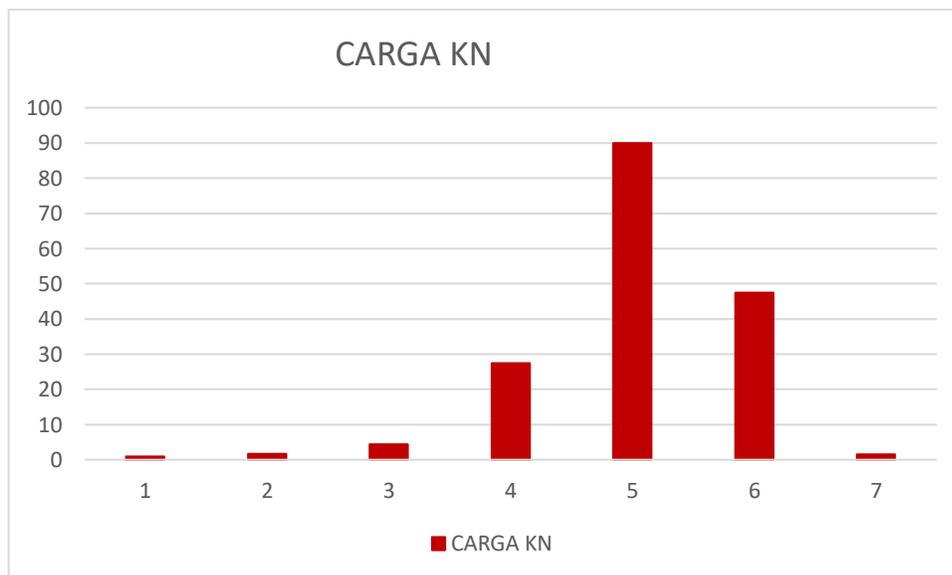


Gráfico 3. Carga KN.

Fuente: Propia.

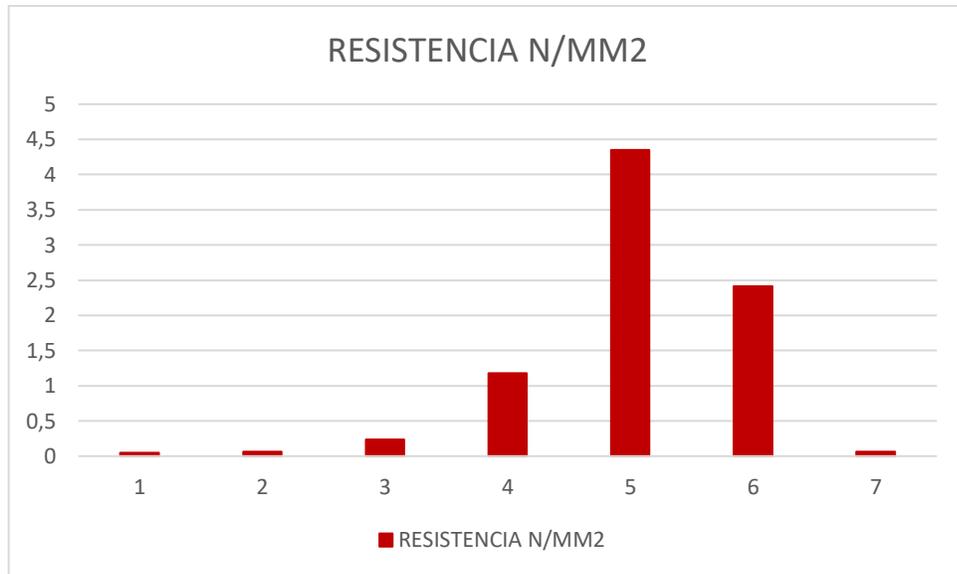


Gráfico 4. Resistencia a compresión.

Fuente: Propia.

Analizando cada uno de los datos obtenidos según (anexo 4) se puede resumir y concluir en la tabla 17 que las muestras tienen una resistencia a la compresión promedio de 1.19Mpa. Si bien el ladrillo con mayor resistencia fue el número 5 con 4.35Mpa esta es retirado de la maquina completamente destruido.



Imagen 31. Valores entregados por la prensa de ensayo.

Fuente: Propia.

Se puede determinar que las piezas a las cuales se le aplico una menor cantidad de tiempo el ensayo de compresión estas quedaban menos destruidas, pero como se aprecia en la imagen 32 esta queda con grietas y fisuras bastante evidentes a diferencia de las piezas que permanecían en la prensa por más de 1 minuto 30 segundos estas quedaban convertidas en polvo.



Imagen 32. Pieza después del ensayo.

Fuente: Propia.

4.1.4 Análisis económico del ladrillo

Los valores proyectados a continuación corresponden al volumen necesario para la confección de 488 unidades de ladrillos artesanales de medidas 30x15x5. Estos son elaborados con un porcentaje 50/50 de arena y arcilla roja, al cual se le añaden 40% de su peso en agua para formar una pasta blanda, moldeable y consistente, el cual una vez moldeados los ladrillos esto son cocidos en hornos a 900°C.

	PRECIO UNITARIO
ARCILLA M³	\$34.900 + IVA
ARENA M³	\$24.900 + IVA
VALOR UNIDAD LADRILLO	\$122,5 + IVA

Tabla 18. Precios materias prima ladrillos.

Fuente: Propia.

Los ladrillos con lodo negro son elaborados con un porcentaje 45/45/10 de arena, arcilla roja y lodo negro respectivamente, al cual se le añaden 40% de su peso en agua para formar una pasta blanda, moldeable y consistente, estos son cocidos en hornos a 900°C. Siendo estos \$12,2 pesos más económicos.

	PRECIO UNITARIO
ARCILLA M³	\$31.410+ IVA
ARENA M³	\$22.410 + IVA
LODO NEGRO M³	\$0
VALOR UNIDAD LADRILLO	\$110,3 + IVA

Tabla 19. Precios materias prima ladrillos con lodo negro.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la presente investigación se puede concluir o respaldar las hipótesis planteadas:

Hipótesis 1: “El lodo negro permite crear materia prima para la fabricación de ladrillos con características similares a ladrillos artesanales”, debido a que el lodo al ser un material altamente absorbente es un material viscoso y adherente lo que ayuda a formar fácilmente la pasta del ladrillo con la arcilla, y otros materiales, lo que hace que estos cumplan con la forma, tamaño y consistencia necesaria para ser comparados con ladrillos artesanales.

Hipótesis 2: “La cocción de ladrillos de lodo negro a una temperatura media de hasta 200°C entrega mayor resistencia a los ladrillos”, quedó demostrado que se puede coser un ladrillo a una temperatura de 200°C haciendo que estos sean más resistentes y duros al tacto, cumpliendo con las características necesarias para su posterior ensayo.

Hipótesis 3: “Los ladrillos creados con a lo más un 10 % de lodo negro proveniente de las plantas de tratamiento de aguas servidas tienen características físico mecánicas aptas para el uso en la construcción”, los ladrillos con lodo negro no son aptos para ser utilizados en la construcción ya que ninguno de ellos por sí solo cumple con el ensayo de resistencia a la compresión exigido por la NCH169, requisito mínimo para ser utilizado como material constructivo.

Según la NCH169, los ladrillos hechos a mano (MnM) o artesanales deben tener una resistencia a la compresión mínima de 4Mpa de la cual los ladrillos ensayados como promedio resultaron con una resistencia de 1.19Mpa. Sin embargo, los ladrillos si cumplen con el porcentaje (%) de absorción de agua ya que la norma exige una absorción de agua máxima de 22% y los ladrillos ensayados en promedio tiene una absorción del 15.49%.

Como conclusión final no es posible crear ladrillos con lodo negro que cumplan con los requerimientos de las normas, ya que estos no son resistentes y por lo tanto no son aptos para el uso.

También se puede concluir que no es factible extraer la humedad del lodo con métodos naturales sin la necesidad de un horno que trabaje a una temperatura mayor a 70°C, ya que esta es la única capaz de eliminar las bacterias encontradas en estos.

BIBLOGRAFÍA

- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República de Chile, DS N°90. (2000). *Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales*. [1]
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2022), *PTAS en operación*. [2]
- Talca Capital, Media3 (01 agosto 2019), *Nuevosur inició plan de mantención y limpieza de redes de agua potable en Talca*. [3]
- Fundación Wikimedia, Inc. (2022), *Tratamiento de lodos*. [4]
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República de Chile, DS N°4 (2009), *Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas*. [5]
- Instituto Nacional de Normalización, NCh 169 (2001), *Construcción - Ladrillos Cerámicos - Clasificación y requisitos*. [6]
- Instituto Nacional de Normalización, NCh 167 (2001), *Construcción - Ladrillos cerámicos - Ensayos*. [7]
- Instituto Nacional de Normalización, NCh 2123 (1997 - Modificada 2003), *Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo*. [8]
- RYA ladrillos, <https://sites.google.com/site/ryaladrillos/>. [9]

ANEXOS

Anexo 1

Inf.V11



UNIVERSIDAD DE TALCA
LABORATORIO MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS Y AGUAS

INFORME DE ENSAYO I- 52698

CLIENTE : DANITZA JAVIERA BERNAL SEPULVEDA N° RECEPCION : 18083-2022
DIRECCION : Gabriel Muñoz 14 Población Unión
Y Progreso, Comuna de San Clemente
AT : Srta. Danitza Javiera Bernal Sepúlveda FECHA INFORME: 14-09-2022

TIPO DE MUESTRA : Lodo
INFORMACIÓN DE TOMA DE MUESTRA : Realizado por el cliente el 05-09-2022 a las 17:00 Hrs
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA : Población Chile Nuevo, San Clemente
FECHA/HORA RECEPCION DE MUESTRAS : 06-09-2022 11:01 Hrs
TEMPERATURA RECEPCION MUESTRAS : 20 °C

RESULTADOS MUESTRA N° 94538 Lodo Negro

1.- Rto. Escherichia Coli : 4,7 x 10⁴ ufc/g
2.- Determinación de Salmonella 4 gr : **Presencia**
3.- Huevos de Helmitos Viables : **Ausencia**

NOTA: 1 Los resultados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s), la(s) cual(es) fueron proporcionada(s) por el cliente.
2 La Metodología de muestreo se realiza según PT10 Muestreo.
(*) Número estimado.

OBSERVACIONES:

METODOLOGIAS

Análisis	Método	Fecha y hora inicio	Fecha y hora término
Rto. Escherichia Coli	ISO 18649-2:2001	06-09-2022 13:20	07-09-2022 13:00
Determinación de Salmonella 4 gr	Basado en NCh 2675 Of 2002	06-09-2022 13:20	12-09-2022 17:30
Huevos de Helmitos Viables	Sheather modificada	06-09-2022 13:20	08-09-2022 18:00


 Ana Karina Peralta M.
 DIRECTOR LMAA

Pág. 1 de 1

Ver información al reverso

Laboratorio de Microbiología de Alimentos y Agua. Avda. Lircay s/n. Talca
Fono/Fax 56-71 2200265 Mail: lab.alimentos@utalca.cl

Anexo 2

Inf.V11



UNIVERSIDAD DE TALCA
LABORATORIO MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS Y AGUAS

INFORME DE ENSAYO
I-53288

CLIENTE : DANITZA JAVIERA BERNAL SEPULVEDA N° RECEPCION : 18276-2022
DIRECCION : Gabriel Muñoz 14, Población Unión y Progreso
Comuna de San Clemente
AT : Srta. Danitza Javiera Bernal Sepúlveda FECHA INFORME: 14-10-2022

TIPO DE MUESTRA : Lodo
INFORMACIÓN DE TOMA DE MUESTRA : Realizado por el cliente el 06-10-2022 a las 15:00 Hrs.
LUGAR DE TOMA DE MUESTRA : Población Chile Nuevo, Comuna de San Clemente
FECHA/HORA RECEPCION DE MUESTRAS : 07-10-2022 11:51 Hrs.
TEMPERATURA RECEPCION MUESTRAS : 22 °C

RESULTADOS
MUESTRA N° 95477
Lodo Negro Secado a 14 Grados

1.- Rto. Escherichia Coli : < 10* ufc/g
2.- Determinación de Salmonella 25 gr : Ausencia
3.- Huevos de Helmintos Viabiles 4 gr : Ausencia

NOTA: 1 Los resultados son válidos sólo para la(s) muestra(s) analizada(s), la(s) cual(es) fueron proporcionada(s) por el cliente.
2 La Metodología de muestreo se realiza según PT10 Muestreo.
(*) Número estimado.

OBSERVACIONES:

METODOLOGIAS

Análisis	Método	Fecha y hora inicio	Fecha y hora término
Rto. Escherichia Coli	ISO 16649-2:2001	07-10-2022 14:00	08-10-2022 14:10
Determinación de Salmonella 25 o 50 gr	NCh 2675 Of 2002	07-10-2022 14:00	11-10-2022 11:45
Huevos de Helmintos Viabiles	Sheather modificada	07-10-2022 14:00	08-10-2022 16:00


Ana Karina Peratelli
DIRECTOR LMAA



Pág. 1 de 1

Ver información al reverso

Laboratorio de Microbiología de Alimentos y Agua. Avda. Lircay s/n. Talca
Fono/Fax 56-71 2200265 Mail: lab.alimentos@utalca.cl

Anexo 3

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.**Muestreo de ladrillos**

1. Seleccione 6 unidades de ladrillo industrial para ensayo de Absorción de agua y 6 unidades de ladrillo de ladrillos artesanales para ensayo de Absorción de agua.
2. Limpie las unidades seleccionadas con brocha
3. Determine las dimensiones y registre las Largo , Ancho y alto
4. Complete el registro

ABSORCION:

Muestra	Peso seco kg	Peso saturado kg	% absorción
1	1,297	1,521	17,27
2	2,066	2,415	16,89
3	1,388	1,589	14,48
4	1,180	1,394	18,14
5	1,080	1,195	10,65
6	—	—	—
Promedio			15,49

Tiempo de saturación mínimo (24 horas)	
Fecha	24-11-22
T Inicial	11:00 AM
T final	11:45 AM (25-11-2022)

Anexo 4

25-11-2022

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.**Muestreo de ladrillos**

1. Seleccione 7 unidades de ladrillo industrial para ensayo de compresión y 3 unidades de ladrillo de ladrillos artesanales para ensayo de compresión.
2. Limpie las unidades seleccionadas con brocha
3. Determine las dimensiones y regístrelas Largo , Ancho y alto
4. Complete el registro

DETERMINACION DE LA COMPRESION DE LADRILLOS CERAMICOS

NCh 167. Of 2001

FECHA:

1. COMPRESION Ladrillo Artesanal:

Muestra	Largo cm	Ancho cm	Alto cm	Peso Kg
1	16,14	14,74	4,53	1,632
2	17,83	14,66	5	1,848
3	12,44	14,72	4,88	1,236
4	15,63	14,86	4,62	1,631
5	14	14,79	4,72	1,244
6	13,40	14,69	4,84	1,297
7	16,55	14,64	4,69	1,686

①

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.**Muestreo de ladrillos**

1. Seleccione 7 unidades de ladrillo industrial para ensayo de compresión y 3 unidades de ladrillo de ladrillos artesanales para ensayo de compresión.
2. Limpie las unidades seleccionadas con brocha
3. Determine las dimensiones y registre las Largo , Ancho y alto
4. Complete el registro

DETERMINACION DE LA COMPRESION DE LADRILLOS CERAMICOS

NCh 167. OF 2001

FECHA:**1. COMPRESION Ladrillo Artesanal:**

Muestra	Carga KN	Tiempo de ensaye	kgf/cm ² Resistencia
1	0,91	0:58 min	0,05
2	1,60	1:19 min	0,06
3	4,32	1:32 min	0,24
4	27,5	1:39 min	1,18
5	90,0	1:59 min	4,35
6	47,5	2:37 min	2,41
7	1,5	1:38 min	0,06
Promedio			1,19

②