

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROPUESTA DE POSIBLE USO DEL MATERIAL RESIDUAL, PROVENIENTE DE LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN. EMPRESA: ARENERA Y PEDRERA TAURO S.A. TOCUYITO, ESTADO CARABOBO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br Charrabe Rodriguez Elias  
Para optar al Titulo  
De Ingeniero de Minas

Caracas, Junio 2015

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROPUESTA DE POSIBLE USO DEL MATERIAL RESIDUAL, PROVENIENTE DE LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN. EMPRESA: ARENERA Y PEDRERA TAURO S.A. TOCUYITO, ESTADO CARABOBO**

**TUTORA ACADÉMICA:** Profa Aurora Piña

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br Charrabe Rodriguez Elias  
Para optar al Título  
De Ingeniero de Minas

Caracas, Junio 2015

Caracas, Junio de 2015

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de escuelas de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el *Br. Charrabe Rodriguez Elias*, titulado:

**“Propuesta de posible uso del material residual, proveniente de laguna de sedimentación de la planta de clasificación. Empresa: arenera y pedrera tauro s.a. Tocuyito, estado Carabobo.”**

Considerando que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

---

Prof. Omar Marquez  
Jurado

---

Prof. Trino Baloa  
Jurado

---

Profª. Aurora Piña  
Tutora Académica

*Dedico este proyecto a la memoria de dos personas muy especiales en mi vida que actualmente no se encuentran entre nosotros. Mi abuela María por su amor y comidas exquisitas, únicas e inolvidables. A mi hermano Maxxel con el que compartí mi infancia y muchas horas de juego y palabras que nunca olvidaré "Cuando vayas hacer algo no lo pienses mucho porque si lo piensas no lo haces".*

*Eliás Charrabe Rodríguez*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Jorge Charrabe y Maritza Rodríguez por haberme dado la vida, acobijarme entre sus brazos y en especial en estos años de mi formación como futuro profesional, gracias por su apoyo.

A la Universidad Central de Venezuela, por permitirme la entrada a esta gloriosa casa magna y haberme darme la oportunidad de formarme como profesional.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y al cuerpo de profesores del Departamento de Minas por dotarme de los conocimientos necesarios para triunfar en esta nueva vida de existo que están por venir.

A la mujer que incondicionalmente, creyendo en mí, me ha brindado todo su apoyo, gracias Ghioconda Díaz.

A mi tutora académica, Aurora Piña, que con su apoyo y profesionalismo no hubiera logrado finalizar con éxito esta meta tan importante de mi carrera.

A mi gran amigo Carlos Ascencio que con su persistencia y esfuerzo desinteresado me enseñó a estudiar y practicar (encerar y pulir) y por todos los momentos vividos y por vivir, gracias hermano.

A mi amigo Oscar Almiron y compadre Walfre Waldrop con los que compartí horas interminables de estudios.

A Jimmy Morrillo por su calma, consejos y diferentes puntos de vistas.

Al profesor David Mendi por su accesoria y ayuda prestada para la elaboración de este trabajo.

Al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), en especial al Prof. Leonel Rodríguez por la colaboración en la realización de los ensayos.

Al Ing. Jesús Batista (Dpto. Tecnología de los materiales), por su asesoría y colaboración.

A mis amigos de la Facultad, Yonderth Melo, Carlos Rodríguez, Yosmary Álvarez, Jeny Morrillo, Yorangel Tinedo y otros muchos más que no menciono.

A mi Milton Pazzo Eduard, por toda tu ayuda que desinteresadamente siempre me ofreciste cuando más lo necesitaba por eso y por muchas otras cosas gracias amigo.

*Charrabe R., Elias*

**PROPUESTA DE POSIBLE USO DEL MATERIAL RESIDUAL,  
PROVENIENTE DE LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN DE LA  
PLANTA DE CLASIFICACIÓN. EMPRESA: ARENERA Y PEDRERA  
TAURO S.A. TOCUYITO, ESTADO CARABOBO.**

**Tutora Académica: Profa. Aurora Piña. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Minas. Año 2015, 109 p.**

**Palabras clave:** Sedimentos, Beneficio Mineral, y Caolinita.

**Resumen.** La empresa Arenera y Pedrera Tauro S.A., ha considerado evaluar la posibilidad de darle un nuevo valor de uso a los sedimentos, que se generan producto del proceso de lavado de arena los cuales se acumulan en una Laguna de Sedimentación. Como consecuencia del gran tamaño del depósito de estos sedimentos, la empresa se ha visto en la necesidad de mitigar de alguna forma el impacto que estos generan.

De manera que, esta investigación se ha planteado evaluar en términos científicos y por medio de ensayos de laboratorio realizados de manera sistemática, la posibilidad de ubicar estos materiales en algún posible uso industrial, a través de sus propiedades físico-químicas y tratando estos sedimentos como un material tipo arcilla.

La investigación se realiza en cuatro fases: Recolección de información, Salidas de campo, Etapa de laboratorio y Análisis de resultados. En la fase de Recolección de información se investigó bibliografías y recabo todo lo concerniente a usos industriales de arcillas, así como la metodología para la determinación de las propiedades necesarias para su utilización industrial. En la etapa siguiente se realizan salidas de campos que permitieron el

reconocimiento de La Laguna de Sedimentación y la toma de muestras. La tercera fase consistió en el espacio de laboratorio, en la cual se recurrieron a diversos laboratorios y métodos para la determinación de las propiedades del material estudiado. Entre los métodos utilizados los más relevantes son D.R.X., F.R.X. y granulométrico.

Entre los resultados obtenidos por medio de los diferentes ensayos tenemos que: la mineralogía está compuesta por minerales del grupo de las arcillas, caolinita e illita, así mismo se encuentran cuarzo y moscovita. En la composición química se observan altos porcentajes de óxidos de silicio y de alúmina, seguidos de un porcentaje mínimo de óxido de hierro y trazas de otros óxidos. La granulometría obtenida nos ubica el material como Arcilloso y que según el S.U.C.S. cumple con el tamaño adecuado para ser una arcilla.

El material en su forma originaria puede ser utilizado en la industria alfarera como desgrasante, ya que cumple con la composición y granulometría adecuada para este tipo de actividad. Además se encontró un mineral de suma importancia industrial: caolinita, el cual es solicitado actualmente para la industria de materiales cerámicos y no cerámicos. Por ello se recomienda hacer estudios, que a través de métodos de beneficio mineral separe este material de otros y que permita su posterior comercialización, toda vez que, investigar aguas arriba para determinar la influencia de la litología como depósito primario de este mineral.

## INDICE GENERAL

	Pagina
INDICE GENERAL .....	1
INDICE DE FIGURAS .....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS .....	10
ACRONIMOS .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO I .....	14
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.4. TAREAS DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
1.5. ALCANCE.....	16
1.6. LIMITACIONES .....	16
1.7. JUSTIFICACIÓN .....	16
1.8. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II.....	19
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	19
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	19
2.2 VÍAS DE ACCESO.....	21

2.3	RELIEVE.....	21
2.4	HIDROGRAFÍA.....	21
2.5	CLIMA Y VEGETACIÓN.....	22
2.6	GEOLOGÍA REGIONAL.....	22
2.7	GEOLOGÍA LOCAL.....	26
CAPÍTULO III.....		27
BASES TEORICAS.....		27
3.1	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	27
3.1.1.	Suelos gruesos.....	27
3.1.2.	Suelos finos.....	28
3.2	ARCILLA.....	28
3.3	DESINTEGRACIÓN EN AGUA.....	31
3.3.1.	Arcillas Bentonitas.....	31
3.3.2.	Tierras de Fuller.....	32
3.4	VISCOSIDAD.....	33
3.5	POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).....	33
3.6	COLOR.....	33
3.6.1.	Color natural de una arcilla.....	34
3.6.2.	Color de quemado.....	34
3.6.3.	El árbol de Munsell.....	34
3.7	PLASTICIDAD.....	37
3.7.1	Límites de Atterberg.....	38
3.7.2	Limite Líquido.....	39

3.7.3	Limite Plástico.....	39
3.7.4	Límite de contracción. ....	40
3.7.5	Contracción lineal. ....	40
3.8	SECADO.....	41
3.9	CONO PIROMETRICO EQUIVALENTE. ....	43
3.10	TAMAÑO DE PARTICULA. ....	44
3.11	DIFRACCIÓN DE RAYOS X. ....	47
3.12	FLUORESCENCIA DE RAYOS X. ....	47
3.13	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN.....	47
3.13.1	Módulo de rotura. ....	48
3.13.2	Resistencia a la compresión. ....	48
3.14	USOS INDUSTRIALES DE LAS ARCILLAS. ....	48
3.14.1.	Grupo Cerámico.....	49
3.14.2.	Grupo no cerámico.....	50
CAPÍTULO IV .....		51
MARCO METODOLÓGICO .....		51
4.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	51
4.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	51
4.3	POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	52
4.4	RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	53
4.4.1	Instrumentos. ....	53
4.4.2	Procedimiento.....	53
4.5	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	54

4.6	LEVANTAMIENTO EN CAMPO Y MUESTREO.....	54
4.7	PROCESO DE ENSAYO EN LABORATORIO.....	55
4.7.1	Desintegración en agua.....	55
4.7.2	Grado de hinchamiento.....	56
4.7.3	Poder de adsorción ( <i>kerosene</i> ).....	57
4.7.4	Poder de absorción.....	58
4.7.5	Poder de decoloración (Azul de metileno).....	58
4.7.6	Medición de pH.....	59
4.7.7	Color natural.....	59
4.7.8	Color Calcinado.....	60
4.7.9	Plasticidad.....	60
4.7.10	Contracción a 105° C.....	61
4.7.11	Contracción a calcinación.....	62
4.7.12	Tamaño de partícula.....	63
4.7.13	Absorción de agua.....	65
4.7.14	Peso específico.....	66
	CAPÍTULO V.....	69
	RESULTADOS Y ANALISIS.....	69
5.1	DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	69
5.2	TAMAÑO DE PARTÍCULA.....	72
5.3	PLASTICIDAD DEL SUELO.....	77
5.4	PODER DE ADSORCIÓN.....	82
5.5	PODER DE ABSORCIÓN.....	83

5.6	PODER DE DECOLORACIÓN.....	83
5.7	FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	88
5.8	COLOR NATURAL Y COLOR CALCINADO.....	90
5.9	CONTRACCION A 105 °C Y A CALCINACIÓN.....	91
5.10	ABSORCIÓN DE AGUA.....	92
5.11	PESO ESPECÍFICO.....	93
5.12	CALCULO DEL VOLUMEN EN LA LAGUNA.....	93
	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES.....	100
	REFERENCIAS.....	101
	ANEXOS.....	103

## INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura N° 1. Ubicación relativa del estado Carabobo con imagen superpuesta del Municipio Libertador y una imagen aérea de la Arenera y Pedrera Tauro S.A. Fuente Google Earth. y Atlas de Venezuela modificado. ....	20
Figura N° 2. Átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000). ....	29
Figura N° 3. Esquema de una unidad hexagonal. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000). ....	29
Figura N° 4. Esquema de la estructura de la lámina aluminica. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000). ....	30
Figura N° 5. Dibujo original de Albert Munsell. Fuente: .....	35
Figura N° 6. Esquema del árbol de Musell en intensidad. Fuente: .....	36
Figura N° 7. Límites de Atterberg con respecto a límites entre los estados materiales. Fuente: Villalaz (2007). ....	38
Figura N° 8. Diagrama de Bourry. Fuente: Gueto y Morales (2012) .....	42
Figura N° 9. Imagen de diferentes conos pirometrico Fuente: .....	44
Figura N° 10. Esquema de diseño de la investigación. Fuente: Elaboración propia. ....	52
Figura N° 11. Esquema metodológico en la recolección y procesado de la información. ...	53
Figura N° 12. División por sectores de La Laguna de Sedimentación para la toma de muestras. Fuente: Imagen Google Maps, modicada. ....	55
Figura N° 13. Grafica de calibración del picnómetro 592. Fuede: Comunicación personal con el Ingeniero Leonel Rodriguez. ....	68
Figura N° 14. Picnómetro y desecador al vacío junto a bomba. Fuente: Elaboración propia. ....	68
Figura N° 15. Difractograma de la muestra 1 .....	69
Figura N° 16. Difractograma de la muestra 2. ....	70
Figura N° 17. Difractograma de la muestra 3. ....	70

Figura N° 18. Difractograma de la muestra 4. ....	71
Figura N° 19. Distribución granulométrica de la muestra 1 en micrómetros. ....	75
Figura N° 20. Distribución granulométrica de la muestra 2 en micrómetros. ....	75
Figura N° 21. Distribución granulométrica de la muestra 3 en micrómetros. ....	76
Figura N° 22. Distribución granulométrica de la muestra 4 en micrómetros. ....	76
Figura N° 23. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 1. ....	78
Figura N° 24. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 2. ....	78
Figura N° 25. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 4. ....	79
Figura N° 26. Porcentaje de humedad para 25 golpes de materia prima (Alfarería). ....	79
Figura N° 27. Carta de plasticidad. ....	81
Figura N° 28. Transmitancia vs miligramos por litro de azul de metileno en los patrones. ....	84
Figura N° 29. Absorbancia de concentración de miligramos por litro de azul de metileno en los patrones. ....	85
Figura N° 30. Transmitancia en las muestras. ....	85
Figura N° 31. Ubicación de los puntos de la poligonal sobre la laguna. Fuente: ....	95
Figura N° 32. Modelaje de curvas de nivel. Fuente: Elaboración propia. ....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla N° 1. Datos obtenidos a partir de los pesos retenidos por vía húmeda con los diferentes tamices.....	72
Tabla N° 2. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 1 .....	72
Tabla N° 3. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 2 .....	73
Tabla N° 4. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 3.....	73
Tabla N° 5. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 4.....	74
Tabla N° 6. Pesos y # de golpes de los diferentes ensayos propuestos por Casagrande. ....	77
Tabla N° 7. Pesos obtenidos para el cálculo del límite de plástico.....	80
Tabla N° 8. Porcentajes de LL, LP e IP de las muestras.....	80
Tabla N° 9. Cantidad de <i>kerosene</i> agregada a la muestra en gramos y mililitros.....	82
Tabla N° 10. Peso en gramos por cantidad de gotas de <i>kerosene</i> . ....	82
Tabla N° 11. Cantidad en gotas de aceite de linaza y sus respectivos pesos.....	83
Tabla N° 12 Valores de transmitancia y absorbancias para distintas concentraciones de azul de metileno (Patrones).....	83
Tabla N° 13. Valores de transmitancia y absorbancia en soluciones de concentración fija y diferentes cantidades de arcilla. ....	84
Tabla N° 14. Valores de metileno antes y después de agregar las muestras de arcilla. ....	86
Tabla N° 15. Relación de material decolorado por cada 100 gramos de arcilla. ....	87
Tabla N° 16. Composición química de las muestras obtenidas a partir de FRX. ....	88
Tabla N° 17. Límites de composición química para la materia prima en la industria de la alfarería.....	89

Tabla N° 18. Códigos de colores observados en las muestras después de calcinar. ....	90
Tabla N° 19. Datos de Contracción por Cocción. ....	91
Tabla N° 20. Pesos de las probetas y sus porcentajes de absorción de humedad. ....	92
Tabla N° 21. Valores de medición de los diferentes pesos requeridos en el cálculo del peso específico. ....	93
Tabla N° 22. Coordenadas U.T.M. de los puntos alrededor de la laguna. ....	94

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

### SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

#### Unidades bases del SI.

Magnitud	Nombre de la unidad SI	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s

#### Unidades derivadas seleccionadas del SI expresadas en términos de unidades de base.

Magnitud	Nombre de la unidad SI	Símbolo
Área	Metro cuadrado	m <sup>2</sup>
Volumen	Metro cúbico	m <sup>3</sup>
Velocidad	Metro por segundo	m/s
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>

#### Unidades usadas junto al SI.

Nombre	Símbolo	Valor en unidades del SI
Minuto (tiempo)	min	1 min = 60 s
Hora	h	1 h = 60 min = 3.600 s
Día	d	1 d = 24 h = 86.400 s
Grado (ángulo)	°	1° = (pi/180) rad
Litro	l*	1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Tonelada <sup>2</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Hectárea	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>

\*Tanto "l" como "L" son símbolos aceptados del litro.

Los datos de las tablas proceden en su mayor parte del Instituto Nacional de Normas y Tecnología de Estados Unidos (NIST).

## ACRONIMOS

Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI)

Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT).

Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Difracción de Rayos X. (DRX).

Policloruro de Vinilo (PVC).

*American Society of Testing Materials* (ASTM).

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

Universidad Central de Venezuela (UCV).

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Centro de Asistencia a la Industria de la Cerámica (CAIC).

Una Norma Española (UNE).

Universal Transversal Mercator (U.T.M.).

## INTRODUCCIÓN

Toda explotación minera produce o genera un pasivo ambiental, cualquiera sea el método utilizado.

La empresa Arenera y Pedrera Tauro S.A., se dedica a la venta de productos destinados al área de construcción, como: arena lavada y gravas. Estos áridos son de origen aluvial que al ser transportados y depositados, generan y acumula diversidad de tamaños de grano, los cuales deben ser separados por tamaños antes de ser destinados a su uso comercial. Tal es el caso de la arena lavada, la cual como su nombre lo indica es necesario hacerle una separación con agua y cribado para lograr una separación; en este proceso de lavado se genera un material estéril cuyo tamaño de partícula es muy fina, el cual es depositado en una Laguna de Sedimentación. En consecuencia, estos sedimentos se han acumulado y abarcan en la actualidad una gran extensión, alcanzando el nivel presente de la planta de clasificación granulométrica, siendo necesaria la ubicación a otra zona para una nueva laguna, lo cual generaría un mayor impacto ambiental; de ahí que, la empresa ha contemplado entre las posibles soluciones utilizar este material en algún otro tipo de industria.

Por tanto, esta investigación tiene como objetivo buscar posibles usos industriales de este material residual. Para ello se busca a través de ensayos de laboratorio, basados en las propiedades físico-químicas de estos sedimentos darle un valor agregado a estos pasivos y garantizar la posible disminución del volumen de este material, de forma que cumpla con los estatutos establecidos en diferentes leyes, las cuales instan la disminución de los pasivos ambientales a través de investigaciones.

El presente trabajo investigativo es de tipo no experimental-descriptivo y está comprendida por cinco capítulos que se describen a continuación: Capítulo I se encuentra el Planteamiento del Problema y los objetivos de la investigación, alcances y limitaciones; en el Capítulo II se señala la Geología local y regional, ubicación geográfica y vías de acceso a la zona de estudio, así como vegetación, clima e hidrografía. En el Capítulo III se observan las Bases teóricas y definiciones que permiten una mejor comprensión al lector de este

trabajo. Seguido el Capítulo IV en dónde se expondrá el Marco Metodológico, en el cual se presentará la metodología empleada para el logro de los objetivos planteados, así como los ensayos realizados para determinar las propiedades físico-químicas del material de interés. Por último, el Capítulo V contiene los resultados obtenidos de los diferentes ensayos y los análisis de los mismos.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo se introduce al lector al planteamiento del problema, objetivos y justificación así mismo las limitaciones y alcance de la investigación, y antecedentes.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Arenera y Pedrera Tauro S.A. es una de las empresas principales de abastecimiento de agregados para la construcción en el estado Carabobo, esto lo hace a través de la extracción de arenas de un yacimiento compuesto de acumulación de sedimentos aluvionales.

Esta investigación plantea la posibilidad de establecer usos industriales del pasante final que se genera en el proceso de clasificación granulométrica, el cual se acumula en una laguna de sedimentación generando un problema ambiental. Se propone tratar este material como una arcilla que ha formado un “yacimiento secundario” debido al proceso genético del cual deriva, en atención a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Para averiguar los posibles usos, se planea una serie de pruebas de campo y ensayos de laboratorio que van a determinar posibles aplicaciones como materia prima en la industria.

En el proceso de clasificación por vía húmeda se genera un fino el cual no es aprovechado y va directo a una laguna de sedimentación, la cual ocupa un área extensa y que ha acumulado más de treinta años. Este residuo, genera problemas desde el punto de vista ambiental, por lo que se requiere buscar una solución que genere el menor impacto posible entre ellos el aprovechamiento como materia prima con otros usos, en virtud de lo expuesto en el artículo 5 de la Ley de Minas (1999) sobre: “2. Tomar todas las providencias necesarias para impedir el desperdicio de los minerales”.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Proponer mediante un estudio el posible valor de uso del material residual, proveniente de La Laguna de Sedimentación de la Planta de Clasificación, empresa Arenera y Pedrera Tauro S.A. Tocuyito, estado Carabobo.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar las condiciones actuales de La Laguna de Sedimentación para la obtención de variables técnicas.
- Recopilar información técnica y bibliográfica sobre las características físicas, químicas y mecánicas sobre posibles usos industriales de arcillas.
- Caracterizar y someter a ensayos de laboratorios las muestras obtenidas en campo para su posterior análisis y clasificación de uso industrial.
- Elaborar una propuesta sobre posible(s) valor(es) de uso del material arcilloso proveniente de Laguna de Sedimentación, con la clasificación obtenida de ensayos de laboratorio.

## **1.4. TAREAS DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Obtener Linderos de la Laguna de Sedimentación para determinar área.
- Localizar mapas cartográficos de la zona en estudio para determinar diferencia de cotas antiguas con las cotas actuales.
- Determinar el volumen de los residuos acumulados en la Laguna de Sedimentación.
- Recopilar información técnica y bibliográfica sobre las características físicas, químicas y mecánicas sobre posibles usos industriales de arcillas.
- Visitar algunas empresas que utilicen la arcilla como materia prima para solicitar información sobre las propiedades requeridas para su empleo.
- Localizar e investigar en internet, textos, revistas y otros medios propiedades necesarias de la arcillas para ser utilizadas como materia prima.

## **1.5. ALCANCE**

Con el desarrollo de este estudio se pretende determinar los posibles usos del material residual en la laguna de sedimentación y abrir una brecha de estudio de mayor detalle con el objeto de dar un uso al pasivo minero acumulado sobre las bases de ensayos realizados y sus posteriores análisis sistemáticos.

## **1.6. LIMITACIONES**

- Escasa ayuda de empresas.
- Falta de recursos en equipos de ensayos para la flexión y absorción de rayos x.
- Muestras insuficientes en la parte de desembocadura final de la laguna por perdida de la misma.
- Falta de materia prima para algunos de los ensayos en el laboratorio (cono pirometrico).

## **1.7. JUSTIFICACIÓN**

En atención a las necesidades expuestas en el Plan Socialista de La Patria 2013-2019, en el Tercer Gran Objetivo “3.1.16.11”. Desarrollar tecnologías mineras que disminuyan el impacto ambiental, los volúmenes de material residual y el procesamiento superficial del material útil; aprovechando el potencial de las universidades e institutos del país y los convenios de transferencia tecnológica firmados con países aliados”, La empresa Arenera Pedrera Tauro S.A., evalúa la posibilidad de darle un aprovechamiento productivo al estéril acumulado del proceso de lavado de la arena. Por lo antes expuesto se propuso realizar una investigación científica, basada en métodos para ensayos de laboratorio y análisis que permitan determinar la forma y modo de uso del residuo como materia prima, con miras al logro de satisfacer parte de la demanda industrial que genere bienes o servicios, así como contribuya al impulso productivo del país para crear un bienestar social y ambiental.

Entre los posibles beneficios sociales y económicos que generaría esta investigación esta avalar de modo científico una “materia prima” que lograría abastecer a parte de la industria alfarera que va a ser destinada a La Gran Misión Vivienda que construye viviendas

de interés social. Así mismo se estaría disminuyendo el impacto ambiental que genera la Laguna de Sedimentación que tiene un importante volumen acumulado de material estéril. Actualmente la Laguna ocupa un espacio aproximado de cuatro (4) hectáreas y una altura de 20 metros, alcanzando aproximadamente la cota a la cual se encuentra la planta de lavado.

#### **1.8. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

- Instituto Venezolano de Investigaciones Tecnológicas e Industriales (INVESTI) Arcillas Industriales En Venezuela. Caracas-Venezuela 1962.

En 1962 el INVESTI realiza una investigación para determinar la calidad de arcillas y tipo de uso industrial alrededor de todo el país. La base de la metodología utilizada fue apoyada en un trabajo llevado a cabo por el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT).

El estudio de campo se sustentó en datos aportados por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos, las Compañías Creole, Shell y Mene Grande. Se tomaron muestras representativas de diez kilos aproximadamente de todos los afloramientos conocidos alrededor de carreteras principales, secundarias y en zonas privadas. Recolectaron datos de ubicación de los yacimientos para situar en un mapa geológico y las muestras fueron remitidas a laboratorios para realizar ensayos que determinarían la calidad de las diferentes arcillas.

- Yupari, A. (s.f.) Pasivos Ambientales mineros en Sudamérica.

Anida realiza un informe titulado “Pasivos ambientales mineros en Sudamérica”, en el cual hace referencia a los pasivos mineros ambientales de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú. Describe los diferentes pasivos mineros y los efectos asociados a ellos mencionando la contaminación que genera describiendo el impacto sobre el ambiente y la manera como se propone y como se ejecutan diferentes tipos de mitigación de los impactos a su vez hace referencia a casos más relevantes de contaminación. También describe las diferentes leyes y reglamentos específicos y generales orientados a regular el proceder con respecto a los pasivos ambientales mineros.

- Castro y Rivero (2010), Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la Hacienda el Marqués, municipio Zamora, Guatire, estado Miranda.

Castro y Rivero realizan un estudio de caracterización geológica de las rocas sedimentarias que constituyen el subsuelo de un sector de la hacienda El Marqués, Guatire, estado Miranda y a su vez evalúan el potencial de estas rocas como materia prima en la industria alfarera. El mencionado trabajo especial de grado sirvió como base y un punto de partida en alguno de los ensayos realizados para determinar el valor de uso industrial.

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICO-NATURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En esta sección se muestran la descripción de las características físico-naturales de la zona de estudio en la que se procura describir ubicación geográfica, acceso, relieve, hidrografía, clima, vegetación así como geología regional y local.

#### **2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

La Arenera y Pedrera Tauro S.A. está ubicada en el Municipio Libertador en la parte Suroeste del estado Carabobo como se muestra en la Figura N° 1.

El estado Carabobo está situado en la región Centro-Norte de Venezuela, siendo sus límites el mar Caribe por el Norte; los estados Cojedes y Guárico por el Sur; Aragua por el Este y el estado Yaracuy por el Oeste. Superficie: 4.650 km<sup>2</sup>, 0,50 % del Territorio Nacional, población 704.436 habitantes para el año 2010.

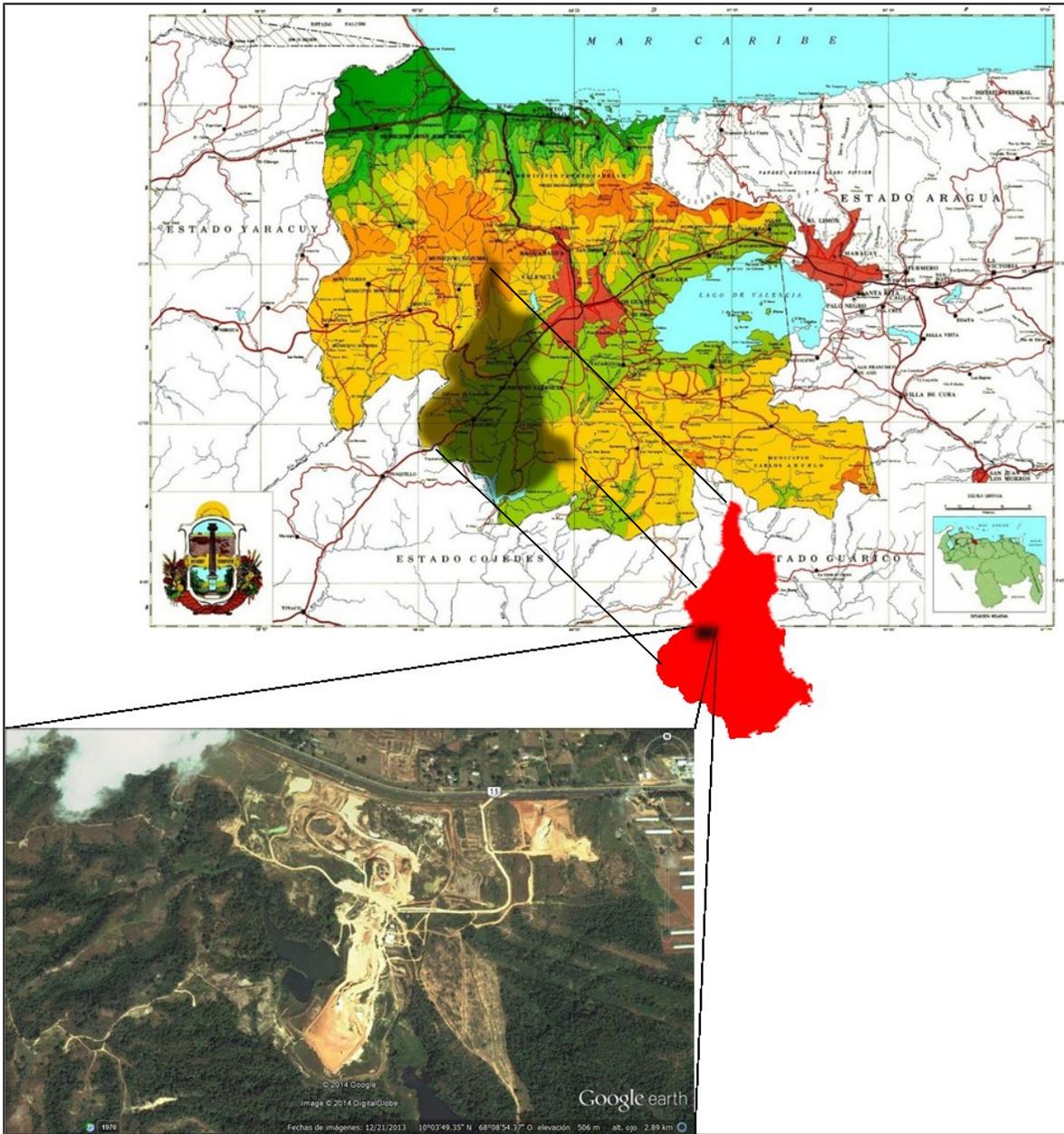


Figura N° 1. Ubicación relativa del estado Carabobo con imagen superpuesta del Municipio Libertador y una imagen aérea de la Arenera y Pedrera Tauro S.A. Fuente Google Earth. y Atlas de Venezuela modificado.

## **2.2 VÍAS DE ACCESO.**

El acceso a la mina se efectúa por la carretera nacional Valencia-Bejuma; a unos 5 km de la encrucijada sentido Este-Oeste dirección Nirgua, se toma desvío a la izquierda que lleva por una vía de tierra engrazonada a las instalaciones de oficinas y planta de procesamiento.

## **2.3 RELIEVE.**

Jadira y Saavedra (2012) indican que en el área de la Hacienda San Rafael y alrededores se observan elevaciones aisladas de cierta altura y son afloramientos rocosos (cerros testigos) del Cretáceo metamorfizado como el llamado Cerro Gordo próximo a la Encrucijada de Campo de Carabobo.

## **2.4 HIDROGRAFÍA.**

Describe (ob.cit) por las características topográficas del terreno y su interconexión con la cuenca de Valencia y Valles de Aragua, el área hidrológica está conectada con la Hoya Hidrográfica del Orinoco y fisiográficamente la podemos considerar como zona de transición entre los Valles de Aragua y la Serranía de Nirgua y Tinaquillo. El colector principal de aguas lo constituyen la Quebrada Barrera que nace en las estribaciones de la Cordillera de la Costa y en su desarrollo va sumando pequeños afluentes casi todos de curso intermitente, tales como: quebrada La Lagunita, quebrada La Tuerta, quebrada San Rafael y otras, que siguiendo un rumbo en dirección norte sureste vierten sus aguas al río Paito para integrarse a la Gran Hoya Hidrográfica del Orinoco.

## 2.5 CLIMA Y VEGETACIÓN

(Ob.cit.) La temperatura del estado se mantiene dentro de los 20 y 26 °C durante todo el año. Los periodos de lluvia ocurren desde mayo hasta noviembre, presentando pocas precipitaciones el resto del año y creando sequía mientras esto ocurre

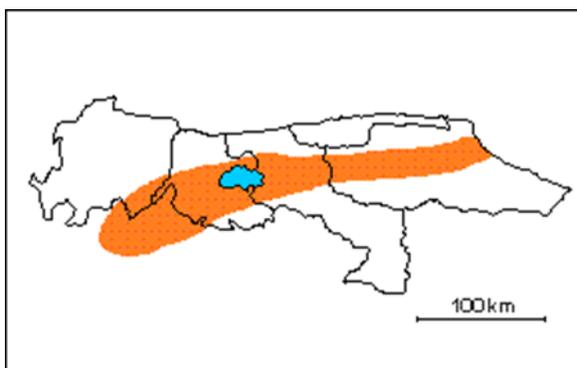
La vegetación presente es escasa y rala, de tipo herbácea baja, con árboles y arbustos en los linderos Norte y Sur, siendo los principales representantes el pasto barrera (*Brach.ar.a sp.*) en todo el terreno arbustos de mata ratón en el lindero norte formando estantes vivos de la cerca perimetral y un pequeño grupo de árboles hacia el lindero Sur dentro de los que se encuentran las especies de yagrumo, jobo, fruta de burra, cabeza de negro, carbonero y chaparro.

## 2.6 GEOLOGÍA REGIONAL

Jadira y Saavedra (2011) describen la zona como una prolongación de los sedimentos Cuaternarios que cubren los valles de Aragua y Carabobo, estos penetran como una cuña hacia el Oeste de las estribaciones de la Serranía Nirgua-Tinaquillo donde afloran rocas del Cretáceo metamórfico Grupo Caracas, Formación Las Mercedes, por el flanco Norte el tramo de la Cordillera de La Costa (tramo central rocas de la misma Formación las Mercedes) y por el flanco Sur la Serranía del Interior, Formación Las Brisas y Las Mercedes; y algunos afloramientos ígneos aislados.

Los depósitos se asocian con niveles sedimentarios Holocénicos a Recientes que forman parte del amplio abanico clástico que se extiende morfológicamente desde Tocuyito hasta Taguanes en el estado Cojedes. La secuencia se encuentra en contacto abrupto con esquistos cuarzo-micaceos y filitas sericiticas de la Formación Las Mercedes y se caracteriza por la presencia de horizontes de clásticos cuarzosos intercalados con arenas de grano fino, arcillas y limos.

## Formación Las Mercedes,



Mesozoico (Jurásico - Cretácico)

Distrito Capital.

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 15.

Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme.

Localidad tipo: Antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas (Hoja esc. 1:100.000, Cartografía Nacional) hoy Urb. Las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

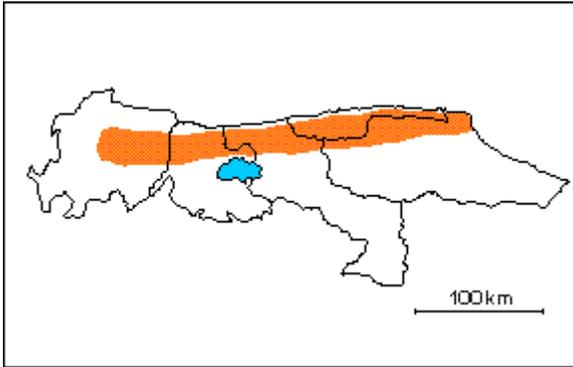
Descripción litológica: Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Según Wehrmann (1972) y la revisión de González de Juana et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquistos cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados".

Urbani et al. (1989-a) cartografian dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquisto calcítico - grafitoso y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani et al. (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquisto grafitoso y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquisto albitico - grafitoso.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositaron la Formación las Mercedes. Oxburgh (op. cit.), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven.

Contactos: Las Mercedes y Las Brisas, como concordantes y de tipo sedimentario. Mientras que autores más recientes considera que es de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades (e.g. González de Juana et al., 1980, p. 318). Edad: Estas asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

## Formación Las Brisas.



MESOZOICO (Jurásico Tardío)

Distrito Capital

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 12.

Consideraciones históricas: La primera referencia a esta unidad se debe a Aguerrevere y Zuloaga (1937), quienes la denominan Conglomerado Basal de Las Brisas y agregan una breve descripción.

Localidad tipo: Sitio de Las Brisas, en el km 10 de la antigua carretera Caracas-Ocumare del Tuy, cerca de la represa de la Mariposa. (Hoja 6847, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: La descripción original de Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), menciona un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm de diámetro, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silíceo. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación.

Dengo (op. cit.) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquistos cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y Anfibolitas estratificadas concordantes, que interpreta como tobas, sills o flujos metamorfizados.

Contactos: La Formación Las Brisas descansa sobre el Complejo Basal de Sebastopol. El contacto, ya sea por la foliación discordante, sea por el hiatus de tiempo que separa ambas formaciones, es discordante, según la opinión generalizada,

La Formación Las Brisas forma en la región capital, el núcleo de los anticlinorios que corren a lo largo de la faja de la Cordillera de la Costa. Los trabajos presentados hasta 1972, ofrecen un cuadro estructural clásico de plegamientos longitudinales, con sus respectivas fallas, segmentados por fallas transversales, haciendo mención de microestructuras, tales como lineaciones, pliegues de flujo, etc., tomando como base para la composición estructural, el principio de que la foliación es paralela a la estratificación, y de que los esfuerzos de deformación provienen del norte, con una componente menor en sentido E-W.

## **2.7 GEOLOGÍA LOCAL**

Jadira y Saavedra (2012) indican que en la zona y alrededores inmediatos se observan sedimentos aluvionales y se puede distinguir claramente dentro de estos sedimentos tres (3) zonas muy bien demarcadas litológicamente:

- Una zona alta de colinas alargadas en dirección Este-Oeste de bordes redondeados y de constitución gravo-arenosa.
- Una zona inmediata completamente plana y que es de carácter arcilloso.
- Una zona de quebradas y zanjones profundos donde hay erosión intensa.

La sección geológica local comienza desde la superficie hacia abajo con una gruesa capa arcillo-arenosa de espesor variable entre 4 y 10 metros continuando con una sección de gravas limpias y cantos cuarzosos, de bordes angulosos de hasta 2" de tamaño que pasan gradualmente a sedimentos más finos gravo-arenosos y areno-limosos hasta convertirse en arenoso en el resto del perfil. La granulometría de estos sedimentos es altamente variable notándose como característica particular que la angulosidad de los granos se mantiene hasta el tamaño de las arenas de grano medio a fino, carácter indicativo de que la fuente de estos sedimentos es cercana y la distancia de transporte es corta. Estos depósitos forman parte de una cuenca cerrada de naturaleza continental, teniendo como fuente secuencias metamórficas ricas en cuarzo.

## CAPÍTULO III

### BASES TEORICAS

Este capítulo está constituido por las bases teóricas necesarias que permitan la comprensión en el desarrollo de la investigación y sustentan el porqué de los diferentes ensayos en laboratorio, proporcionando sentido a las pruebas realizadas. El orden de la teoría expuesta viene dada según la necesidad y particularidad de cada ensayo.

#### 3.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

Dado la gran variedad de suelos existentes en el planeta es necesario utilizar un sistema de clasificación el cual nos permita definir parámetros mecánicos y físicos que nos anticipe distinguirlos, es por ello que se utiliza el Sistema Unificado de Suelos.

Badillo y Rodríguez (2000) dicen que el sistema cubre suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla # 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas; y fino si más de la mitad de sus partículas en peso son finas.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un sufijo y un prefijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelo (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones dentro de estos grupos.

##### 3.1.1. Suelos gruesos.

- Gravas y suelos en que predominen estas. Símbolo genérico **G** (*gravel*).
- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico **S** (*sand*).

Las arenas y las gravas se separan por la malla # 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico **G**, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla # 200) no pasa la malla # 4, y es del grupo genérico **S**, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro (4) tipos:

**W** (*Well graded*), material prácticamente limpio de finos, bien graduado. En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos **GW y SW**.

**P** (*Poorly graded*), material prácticamente limpio de finos, mal graduado. En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos **GP y SP**.

**M**, material con cantidad de fino apreciable no plástico. En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos **GM y SM**.

**C** (*Clay*), material con cantidad de finos plásticos. En combinación con los símbolos genéricos da lugar a los grupos **GC y SC**.

### 3.1.2. Suelos finos.

- Limos inorgánicos, de símbolo genérico **M**.
- Arcillas inorgánicas, del símbolo genérico **C** (*clay*).
- Limos y arcillas orgánicas, del símbolo genérico **O** (*organic*).

Cada uno de estos tres tipos de suelo se subdivide, según su límite líquido, en dos (2) grupos. Si este es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra **L** (*low compressibility*), obteniéndose por esta combinación los grupos **ML, CL y OL**. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra **H** (*high compressibility*), teniéndose así los grupos **MH, CH y OH**.

## 3.2 ARCILLA.

(Ob.cit) El vocablo arcilla proviene del latín *argilla*, palabra asignada a las materias arcillosas.

Las arcillas se consideran como rocas formadas por "minerales arcillosos" que químicamente son silicatos de aluminio hidratados, los cuales se diferencian unos de otros en la relación sílice/alúmina, en la cantidad del agua de constitución y en la estructura.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales,

también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la aluminica. La primera está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro, tal como se muestra en la Figura N° 2. Estos tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada dos tetraedros.

Un esquema de una unidad hexagonal aparece en la Figura N° 3. Las unidades hexagonales repitiéndose indefinidamente, constituyen una red cristalina laminar.

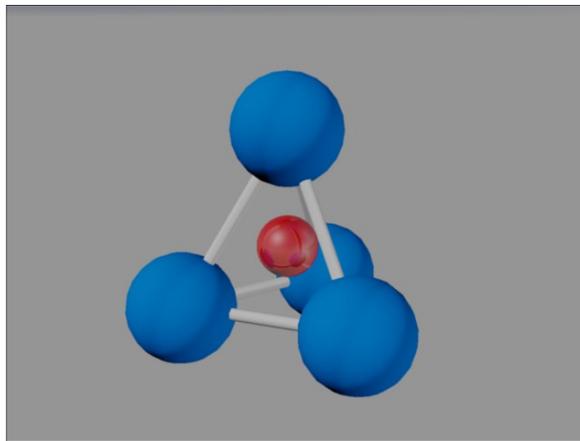


Figura N° 2. Átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000).

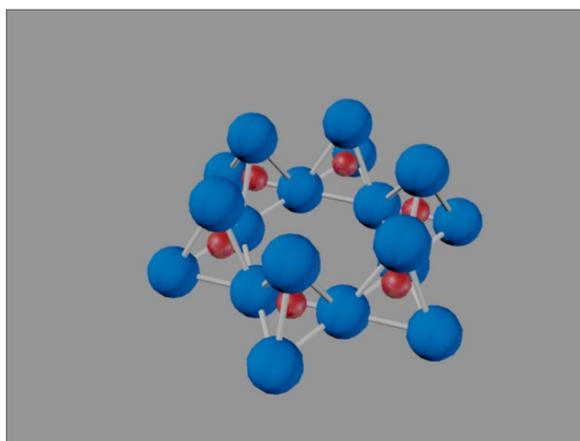


Figura N° 3. Esquema de una unidad hexagonal. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000).

Las láminas alumínicas están formadas por retículas de octaedros, dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor, tal como aparece esquemáticamente dibujado en la Figura N° 4. También ahora es el oxígeno el nexo entre cada dos octaedros vecinos, para constituir la retícula.

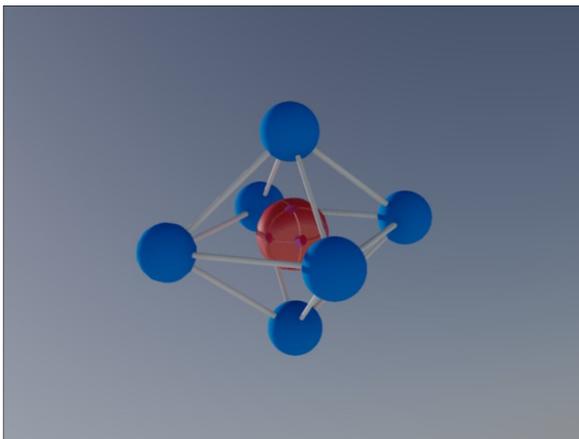


Figura N° 4. Esquema de la estructura de la lámina alumínica. Fuente: Badillo y Rodríguez (2000).

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres (3) grandes grupos: caolinitas, montmorilonitas e illitas.

Las caolinitas ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas. En consecuencia, las arcillas caoliníticas serán relativamente estables en presencia del agua.

Las montmorilonitas  $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  están formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macrofísicamente, en una expansión. Las arcillas montmoriloníticas, especialmente en presencia de agua, mostrarán fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas

volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico.

Las illitas [  $(\text{OH})_4 \cdot \text{K}_y (\text{Si}_{8-y} \cdot \text{Al}_y) (\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6) \text{O}_{20}$ , con y, por lo general, igual a 1.5] están estructuradas análogamente las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de las montmorilonitas y, en general, las arcillas illíticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

### **3.3 DESINTEGRACIÓN EN AGUA.**

La desintegración en agua es una prueba preliminar que señala si una arcilla puede o no ser una arcilla Bentonita o Tierra de Fuller

#### **3.3.1. Arcillas Bentonitas.**

La bentonita es una arcilla de grano muy fino de forma coloidal del tipo de montmorilonita que contiene bases y hierro, utilizada en cerámica. El nombre deriva de un yacimiento que se encuentra en Fort Benton, Estados Unidos. El tamaño de las partículas es inferior a un 0,03 % al del grano medio de la caolinita.

El tipo más normal es la cálcica. La sódica se hincha cuando toma contacto con el agua. El hierro que contiene siempre le da color, aunque existe también una bentonita blanca. Este tipo dará un mejor color en reducción que en la oxidación cuando se emplea en cuerpos de porcelana. Existen diversos tipos de bentonita que varían tanto en la plasticidad como en la dureza. Existen unas pocas, como la Tierra de Batán, que carecen totalmente de plasticidad.

Es una arcilla muy pegajosa con un alto grado de encogimiento (los enlaces entre las capas unitarias permiten la entrada de una cantidad superior de agua que en la caolinita) y tiene tendencia a fracturarse durante la cocción y el enfriado. Por ese motivo no conviene trabajarla sola o como materia predominante de una masa. Su gran plasticidad puede servir de gran ayuda a cuerpos del tipo porcelana. También ayuda a la suspensión del barniz.

Entre los usos tenemos:

- En ingeniería civil como cimentaciones, para sostenimiento de tierras, en forma de lodo bentónico.
- En construcción, como material de sellado.
- En perforación de pozos para extraer agua, petróleo o gas natural, usada en la preparación de los lodos de perforación.
- En la elaboración de grasas lubricantes.
- En la elaboración de aromatizantes.
- En la industria del vino como clarificante proteico.
- En la industria petrolera ligada con agua para fabricar lodos de perforación.
- En la transcripción in vitro a partir de DLPS de Rotavirus.
- Alimentación animal para eliminación de toxinas de alimentos.
- En humanos se le atribuyen efectos desintoxicantes a nivel físico y no químico.
- En metalurgia la bentonita sódica y la bentonita cálcica como aglutinante de la arena de cuarzo para fabricar moldes para fundición.
- Arenas o piedritas sanitarias para cama de gatos.
- Como aditivo para pinturas tixotrópicas o impermeables.

### 3.3.2. Tierras de Fuller.

Tierra de Fuller es cualquier material de arcilla que tiene la capacidad para decolorar aceites u otros líquidos sin tratamiento químico. La tierra de Fuller consiste básicamente de paligorskita (attapulgita) o bentonita . Entre los usos modernos de la tierra de Fuller incluyen absorbentes de aceite, grasa y residuos animales, como un portador para plaguicidas y fertilizantes. Usos menores incluyen filtrado, clarificación y decoloración; y como relleno en pintura, yeso, adhesivos y productos farmacéuticos

En Charles 1913 definió que la Tierra de Fuller se compone principalmente de silicatos de aluminio hidratados (minerales de arcilla) de composición variable. Los componentes comunes son montmorillonita, caolinita y atapulgita . Pequeñas cantidades de otros minerales pueden estar presentes en los depósitos de Tierra de Fuller, incluyendo calcita, dolomita, y cuarzo.

### **3.4 VISCOSIDAD.**

Brown, Lemay y Bursten, (1993) definen que la resistencia de los líquidos a fluir se llama viscosidad. Cuanto mayor sea la viscosidad, más lentamente fluye el líquido. Los líquidos como las melazas y los aceites para motor, son relativamente viscosos. La viscosidad se mide determinando en cuánto tiempo fluye cierta cantidad de líquido a través de un tubo delgado bajo la fuerza de la gravedad. Los líquidos más viscosos tardan más tiempo. En otro método, se mide la velocidad de caída de balines de acero a través del líquido. Los balines caen con más lentitud a través de los líquidos más viscosos.

### **3.5 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinadas disoluciones (ob.cit.).

La sigla significa ‘potencial hidrógeno’, ‘potencial de hidrógeno’ o ‘potencial de hidrogeniones’. Este término fue acuñado por el químico danés Sorensen (1868-1939), quien lo definió en 1909 como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno. Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno.

En disolución acuosa, la escala de pH varía, típicamente, de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución) y alcalinas las de pH superiores a 7.

### **3.6 COLOR.**

El color es una percepción visual que se genera en el cerebro de los humanos y otros animales al interpretar las señales nerviosas que le envían los foto receptores en la retina del ojo, que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético (la luz).

Todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes. Las ondas reflejadas son captadas por el ojo e interpretadas en el cerebro como distintos colores según las longitudes de ondas correspondientes.

#### 3.6.1. Color natural de una arcilla.

En las arcillas el hierro es el componente colorante más común en las arcillas en bruto y rocas relacionadas. La diferencia de color refleja solamente el estado de oxidación del hierro, en medios reductores se presentan colores oscuros, verdosos, grises o negros; medios oxidantes si son rojizos, amarillos o pardos. La presencia de material orgánico transmite colores grises o negros. Las arcillas blancas, están exentas de impurezas colorantes.

#### 3.6.2. Color de quemado.

En las arcillas cocidas, el hierro es también el principal agente que da color: marfil, pardo, rojo o negro; hay cuatro factores que lo determinan:

- Cantidad de hierro presente.
- La presencia de otra sustancia como Titanio y CaO.
- Carácter de la atmósfera que rodea a la arcilla durante el cocimiento y enfriamiento.
- La temperatura que alcance el cocimiento.

Las arcillas que después de la cocción quedan blancas, contienen menos de 1 % de óxido de hierro. Las pardas suelen contener 3-4 % y las rojas contienen 5 % o más de óxido de hierro. Los cambios de color en las arcillas cocidas, indican destrucción o formación de nuevos compuestos químicos.

Hasta los 700 °C el contenido de FeO disminuye, aumentando el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la descomposición del FeO y del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a temperaturas más elevadas da lugar a la desaparición de la coloración rojiza, el color debido a la materia orgánica desaparece al calcinarse.

#### 3.6.3. El árbol de Munsell.

Albert Munsell (1858 – 1918) creó el modelo cromático más versátil que existe hasta la fecha. Para hacerlo, se inspiró en su colega norteamericano Odgen Rood, que eligió el rojo,

el verde y el azul como colores primarios y los distribuyó de modo que el complemento de cada color coincidiera con su imagen posterior en negativo, lo que permitía al artista beneficiarse al máximo de los efectos de contrastes simultáneos.

También formuló un modelo cromático tridimensional, propuesto por el pintor alemán Phillip Otto Runge en 1810, con colores puros alrededor del ecuador, tonos más claros en la parte superior y más oscuros en la inferior como se muestra en la Figura N° 5.

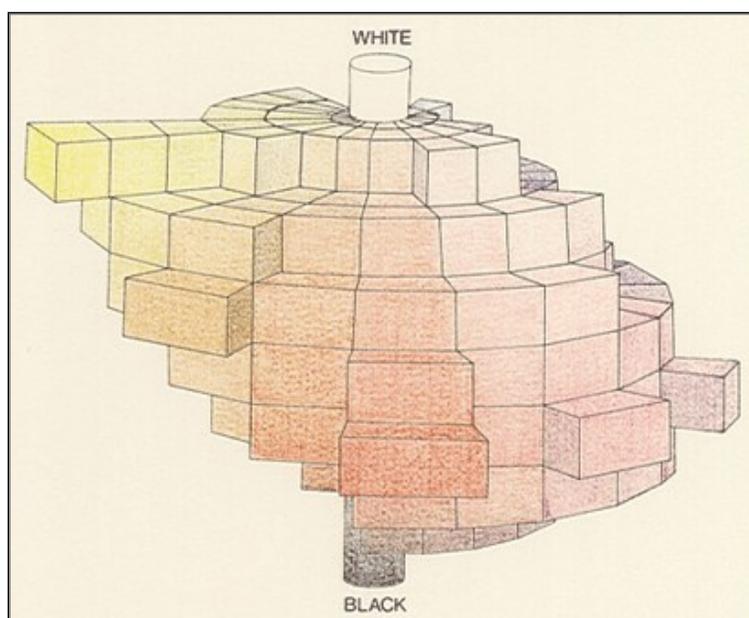


Figura N° 5. Dibujo original de Albert Munsell. Fuente:<sup>1</sup>

El árbol de Munsell, que también puede representarse en forma de rueda, se divide en cinco colores primarios, y otros cinco intermedios, con lo que se obtiene un total de 10 divisiones (las versiones comerciales incluyen hasta 20). Cada color primario se nombra con una inicial que corresponde al nombre en inglés: R (rojo), Y (amarillo), G (verde), B (azul)

---

<sup>1</sup> Ivanovic, Ingrid, & Calvo. (s.f.). Proyectacolor. Recuperado el 12 de 10 de 2014, de [HTTP://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/el-arbol-de-munsell/](http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/el-arbol-de-munsell/)

y P (púrpura). Los colores intermedios se nombran con las iniciales de los principales colores adyacentes: YR, GY, etc. Para mayor precisión, el círculo cromático se divide a su vez en puntos numerados del 5 en la parte superior (rojo) al 1002 en la Figura N° 6 se muestra el esquema de divisiones.

En sentido vertical, el árbol se segmenta en diez intervalos que van del 0 (negro puro, abajo) al 10 (blanco puro, arriba). Las ramas se dividen en segmentos, desde cero en el centro para los colores neutros (gris) hasta 20 o más. Como la escala no tiene límites, incluso los materiales fluorescentes encuentran su lugar.

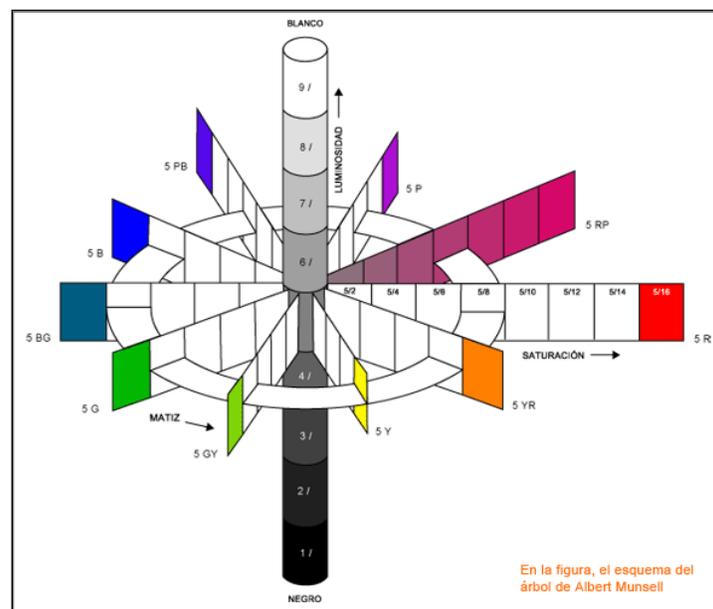


Figura N° 6. Esquema del árbol de Musell en intensidad. Fuente:<sup>2</sup>

Los colores de Munsell se especifican mediante la notación HV/C, donde H es hue o matiz, V es el valor y C es el croma o la saturación. Para facilitar la lectura de las especificaciones, el número del color se acompaña de la(s) inicial(es) del primario adyacente.

<sup>2</sup> Ivanovic, Ingrid, & Calvo. (s.f.). Proyectacolor. Recuperado el 10 de 12 de 2014, de [HTTP://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/](http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/)

Así un rojo intenso sería 5R 5/16. La notación varía para los neutros: el color es N y la saturación se omite, de modo que una tinta negra sería N1 /.

El árbol de Munsell ha demostrado su eficacia en los ámbitos de la manufactura, el arte, la ilustración y el diseño, y en él se basan muchos sistemas industriales de especificación cromática estándar.

### **3.7 PLASTICIDAD.**

Villalaz (2007) dice que la plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse.

La plasticidad es una propiedad que nos permite medir el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en un grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separo los cuatro (4) estados de consistencia de los suelos coherentes.

Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

Los mencionados límites son: Limite Liquido (LL), Limite Plástico (LP) y Limite de Contracción (LC.) mediante estos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

La diferencia entre valores de (L.) y del (LP) da el llamado Índice Plástico (IP) del suelo y se calcula con la Ecuación 1. Los límites líquidos y plásticos depende de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice de plasticidad depende generalmente de la cantidad y tipo de arcilla.

$$I_p = LL - LP \quad (1)$$

Donde:

$I_p$  = Índice Plástico.

LL = Limite Líquido.

LP = Limite Plástico.

### 3.7.1 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg son límites conceptuales entre los estados de comportamiento material entre mezclas de partículas de suelo y agua. Los límites antes referidos fueron desarrollados por el científico Swedish tomando los valores del contenido en agua que correspondían a las observaciones específicas del comportamiento.

En la Figura N° 7 se ilustra una escala del contenido de agua en aumento junto con los diversos comportamientos posibles para un sistema de partículas.

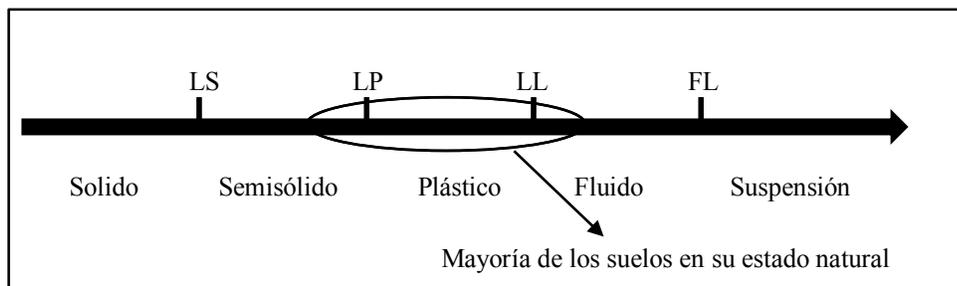


Figura N° 7. Límites de Atterberg con respecto a límites entre los estados materiales. Fuente: Villalaz (2007).

Los límites entre los diversos estados son algo vagos y son definidos en términos de pruebas simples de índice desarrolladas originalmente por Atterberg. El concepto de definición de los límites de comportamientos transitorios, están basados en una medida del contenido de agua en aumento y el comportamiento del suelo dada la interacción para materiales finos granulosos. Como la cantidad agua aumenta en el suelo las partículas aumentan el espaciamiento y la interacción adyacente entre las partículas disminuirá, alterando el comportamiento mecánico.

El ensamble de partículas cambia de un sólido denso empaquetado a un líquido muy libremente empaquetado. Esencialmente, como la mezcla se encuentra con un alto porcentaje de agua, el material llega a ser más débil. Sin embargo, es importante apreciar el hecho de que el índice de cambio de características mecánicas sea fuertemente dependiente del tamaño de la carga superficial de las partículas y la fuerza del mineral.

Por lo tanto, los valores son importantes sobre una base comparativa pero difícil de interpretar como fronteras definitivas entre los estados.

Casagrande desarrolló pruebas estandarizadas más formales del índice para definir estos límites. Las descripciones de las pruebas se presentan en un papel publicado en 1932 y siguen siendo utilizados relativamente sin cambios en los métodos de prueba de la ASTM.

### 3.7.2 Limite Líquido.

El Limite Líquido (LL) se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico y se determina con la Ecuación 2.

$$L.L. = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

LL = Limite líquido en %.

$P_h$  = Peso de la muestra húmeda en gramos.

$P_s$  = Peso de la muestra seca en gramos.

### 3.7.3 Limite Plástico.

El Limite Plástico (LP) se define como el contenido de humedad, expresado como el porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con agua, ha sobrado de la prueba del límite líquido y al cual se le evapora la humedad por mezclado hasta obtener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá

rodillarse enseguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos y se calcula con la Ecuación 3.

$$LP = \frac{P^*_h - P^*_s}{P^*_s} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

LP = Humedad correspondiente al límite plástico en %.

$P^*_h$  = Peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos.

$P^*_s$  = Peso de los trocitos de filamentos secos en gramos.

#### 3.7.4 Límite de contracción.

El límite de contracción (L.C.) de un suelo se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. La diferencia entre el Límite Plástico y el Límite de Contracción se llama Índice de Contracción (I.C.) y señala el rango para el cual tiene una consistencia semisólida.

#### 3.7.5 Contracción lineal.

La Contracción Lineal (C.L.) se define como el porcentaje la contracción con respecto a la dimensión original que sufre una barra de suelo de forma rectangular al secarse en un horno a una temperatura de 100 a 110 °C desde una humedad equivalente a la humedad del límite líquido hasta el límite de contracción según la temperatura. Se puede determinar según la Ecuación 4 y 5.

$$\%C_{110^\circ\text{C}} = \frac{L_o - L_{110^\circ\text{C}}}{L_o} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$C_{110^\circ\text{C}}$  = porcentaje de contracción a 110 °C.

$L_o$  = Longitud inicial.

$L_{110^\circ\text{C}}$  = Longitud a 110 °C.

$$\% C_{1200^\circ\text{C}} = \frac{L_{1200^\circ\text{C}} - L_{110^\circ\text{C}}}{L_{110^\circ\text{C}}} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$C_{1200\text{ }^{\circ}\text{C}}$  = Porcentaje de contracción a 1200 °C.

$L_{110\text{ }^{\circ}\text{C}}$  = Longitud a 110 °C.

$L_{1200\text{ }^{\circ}\text{C}}$  = Longitud a 1200 °C.

### **3.8 SECADO.**

Gueto y Morales (2012), mencionan que los materiales arcillosos, según sus características físicas, pueden absorber del 15 % al 50 % de su peso en agua para formar una masa plástica. Esta agua se puede dividir en cuatro fracciones:

- Agua higroscópica: absorbida por la propia arcilla.
- Agua de contracción: que se encuentra en los huecos o intersticios entre partículas.
- Agua de plasticidad: es la película de agua que reviste las partículas o los cristales.
- Agua de porosidad: es el agua retenida en el interior de los cristales por fenómenos de absorción y capilaridad, y de configuración rugosa de la superficie del cristal.

Envolviendo una masa arcillosa con una corriente de aire caliente y seco, el agua se elimina desplazándose de adentro hacia fuera de la pasta, con una velocidad que depende de la humedad y la temperatura de la corriente de aire, de las condiciones físicas y la naturaleza del material a secar.

Si el secado sobreviene lenta y reguladamente, se elimina antes el agua de los intersticios entre partículas (agua de contracción). Las partículas, por las tensiones producidas tienden a aproximarse unas contra otras produciendo en toda la masa una primera contracción.

En un segundo tiempo se elimina el velo de agua que envuelve las partículas (agua de plasticidad). Las partículas se aproximan más hasta tomar contacto entre sí y comienzan a formarse huecos, produciéndose otra contracción, pero menor que la primera.

Por último, el agua de absorción y de capilaridad (agua de porosidad), se elimina dejando huecos, debidos a la resistencia de la trama de las partículas.

Se tienen, pues, durante el secado dos fenómenos físicos distintos:

- Contracción del material en la primera y segunda fase debida al reagrupamiento de las partículas en los espacios dejados libres por el agua.

- Formación de poros en la segunda y tercera fase, debidos a la configuración del material y a los pequeños canales mantenidos abiertos por el último vapor eliminado.

Según (ob, cit) la pasta del ejemplo de la Figura N° 8 contiene: 75 % arcilla y 25 % de agua. La contracción lineal ha sido del 8%, mientras que la cúbica del 22,1%. Aproximadamente, se puede decir que la contracción en volumen es el triple de la lineal.

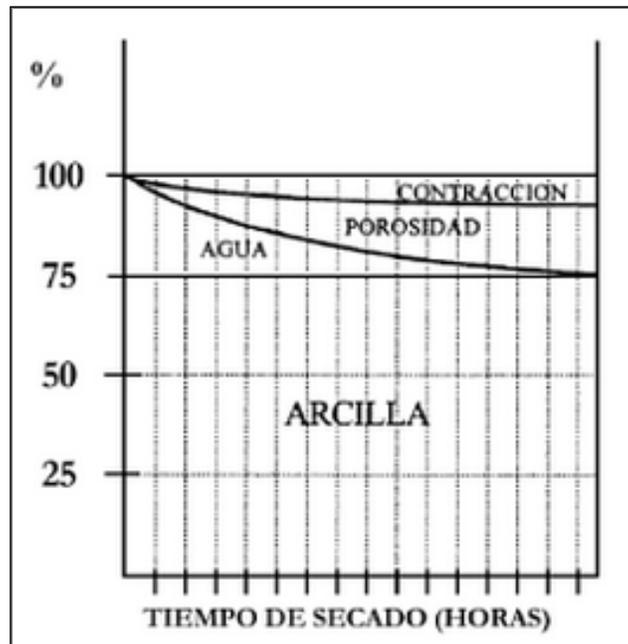


Figura N° 8. Diagrama de Bourry. Fuente: Gueto y Morales (2012)

Desde el punto de vista intensivo, en la evaporación existen dos etapas, la inicial durante la cual la evaporación tiene un ritmo constante, de forma aproximadamente lineal hasta que el secado es completo en superficie y una segunda etapa, la evaporación decrece rápidamente por el aumento de la resistencia a la difusión de dentro hacia fuera del líquido y del vapor en la pieza.

Se establece así la característica más importante y fundamental del secado de una arcilla, la velocidad de secado, que es función del tiempo o duración del mismo.

El movimiento del agua en los intersticios depende:

- De la temperatura ambiente y de la temperatura de la pieza.
- Del contenido en agua del material.
- De la naturaleza química y física del cuerpo cerámico.
- Del tamaño de los poros.
- De la velocidad de contracción.
- De la presión de vapor de la sustancia y del aire.

Un fenómeno importante que es preciso cuidar en el secado de los productos arcillosos, es el generado por el enfriamiento que la evaporación produce sobre la superficie que tiende a hacer el secado heterogéneo e irregular.

Como ya se ha dicho, la característica fundamental del secado es la velocidad, función del tiempo o duración del secado, y del estado higrométrico del aire.

Se puede afirmar que cada material arcilloso tiene una velocidad óptima en relación a su constitución y a la cantidad de agua a evaporar, que hacen sucederse a las fases de un modo regular. En general, cuanto más fino y plástico es el material, más baja es la velocidad de secado.

Si la velocidad supera el óptimo, se rompe el equilibrio entre las distintas fases y entre las fuerzas que empujan hacia el exterior. La parte externa se seca más rápidamente y sufre una brusca contracción, reduciendo al mínimo los canales entre las partículas, mientras en la parte interna, que se encuentra retardada de fase, la presión de vapor empuja. Sobre la parte externa que obstruye el paso, produciendo en esta nuevos conductos de desahogo, inconveniente que conduce a la fisura y ruptura de las piezas.

### **3.9 CONO PIROMETRICO EQUIVALENTE.**

Son pirámides trigonales alargadas de tamaño normalizado, fabricadas de mezclas específicas de materiales cerámicos, que al ser calentados bajo condiciones determinadas, pueden ser utilizadas como un índice de resistencia al calor, ver Figura N° 9.

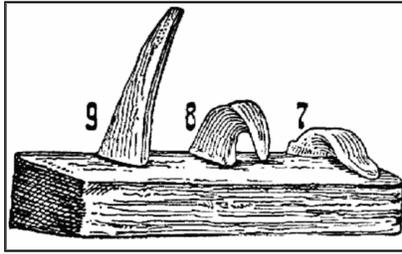


Figura N° 9. Imagen de diferentes conos pirometrico Fuente:<sup>3</sup>

### 3.10 TAMAÑO DE PARTICULA.

Según Celso y Ugas (1985) el tamaño de la partícula  $d$  (mm), se define como la abertura del tamiz de malla cuadrada más cerrada por la cual pasa la partícula; si esta fuera menor de 0,074 mm será entonces, el diámetro de una esfera de peso específico igual al suelo que desciende en agua destilada con la misma velocidad que la partícula del suelo respectiva.

El análisis granulométrico o análisis mecánico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que lo componen determinado en porcentaje del peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños que contienen dicho suelo.

Dependiendo del tamaño de partículas el análisis puede ser:

- Por tamizado.
- Por sedimentación (Hidrómetro).

El tamaño límite de los dos (2) procedimientos es de 0.074 mm que corresponde a la malla tamiz # 200 de la serie del *U.S. Bureau of Standards*. El numero 200 designa la cantidad de aberturas por pulgada de longitud de la tela tamiz.

El porcentaje retenido sobre un tamiz se calcula con las siguientes Ecuaciones 6, 7 y 8.

$$\% \text{Retenido}_i = \frac{\text{Peso ret En tamiz } i}{\text{Peso total}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Peso retenido } i \text{ acumulado} = \text{Peso ret } i + \text{Peso Ret } i-1 \quad (7)$$

$$\% \text{Pasante } i = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso ret acumulado}}{\text{Peso total}} \times 100 \quad (8)$$

<sup>3</sup> Needham, J., Kerr, R., & Nigel, W. (12 de 2 de 2015). Wikia. Obtenido de [http://ceramica.wikia.com/wiki/Cono\\_pirom%C3%A9trico](http://ceramica.wikia.com/wiki/Cono_pirom%C3%A9trico)

El análisis por sedimentación está basado en la Ley de Stokes, que se muestra en la Ecuación 9, que relaciona la velocidad de caída libre de una esfera en el seno de un fluido con su diámetro.

$$V = \frac{1}{18} \times \frac{\gamma_s \times \gamma_f}{\mu} \times d^2 \quad (9)$$

Donde:

V = Velocidad de sedimentación (cm/seg).

d = Diámetro de la esfera (cm).

$\gamma$  = Peso unitario de la esfera (g/cm<sup>3</sup>).

$\gamma$  = Peso unitario del fluido (g/cm<sup>3</sup>).

$\mu$  = Coeficiente de viscosidad del fluido en poises.

Para calcular el diámetro de las partículas en suspensión en un instante t se utiliza la Ecuación 10.

$$d = k \sqrt[2]{\frac{Z_r}{t}} \quad (10)$$

Donde:

d = Diámetro de las partículas en (mm).

<sup>4</sup> K = Constante.

<sup>5</sup>Z<sub>r</sub> = Distancia corregida del hidrómetro (cm).

t = Tiempo de la medición (min).

$$Z_r = Z' - \frac{V_H}{2A_1} \quad (11)$$

Donde:

Z<sub>r</sub> = Distancia corregida del hidrómetro (cm).

Z' = Distancia del hidrómetro corregida por errores de lectura (cm).

V<sub>H</sub> = Volumen del hidrómetro (cm<sup>3</sup>).

A<sub>1</sub> = Área de la sección transversal del cilindro (cm<sup>2</sup>).

---

<sup>4</sup> Los valores de K son tomados de la tabla V-4 Celso y Ugas (1988).

<sup>5</sup> Z<sub>r</sub> se calcula a través de la Ecuación 11 la cual viene dada según el tipo de hidrómetro utilizado y dimensiones del cilindro graduado

$Z'$  es una corrección que se hace por la diferencia que genera la forma del hidrómetro ya que el centro de masa varía según sea el fabricante, así mismo el hidrómetro se ve afectado por factores físicos propios de cada zona como lo es la temperatura. Otro factor influyente en las mediciones del hidrómetro lo es el tipo de defloculante utilizado ya que la densidad del fluido varía según el tipo de dispersante y cantidad utilizada. Por todo lo antes expuesto es necesario hacer uso de la Ecuación 12 que corrige todo lo mencionado.

$$Z' = Z_{r'} \pm C \quad (12)$$

Donde:

$Z'$  = distancia del hidrómetro corregida por errores de lectura (cm).

$Z_{r'}$  = valor tomado directamente del hidrómetro (cm).

<sup>6</sup>  $C$  = corrección por menisco, temperatura, defloculante y desplazamiento del punto cero (cm).

La corrección que se hace a la lectura del hidrómetro ( $C$ ) que es afectado por diversos factores, los cuales se hacen necesarios corregir debido a que las suspensiones del material no son transparentes, por lo que al formarse el menisco alrededor del vástago la lectura correcta no puede hacerse, otra corrección es causada por el cambio del volumen del hidrómetro por dilatación térmica, así mismo la densidad de la suspensión aumenta al agregar el agente dispersante y finalmente la corrección por desplazamiento del punto cero por expansión o contracción del hidrómetro.

En el cálculo del porcentaje fino por hidrómetro se utiliza Ecuación 13.

$$\% \text{ Fino} = \frac{r \cdot a}{W_s} \times 100 \times (\text{pasante tamiz límite}) \quad (13)$$

Donde:

$W_s$  = Peso seco del suelo en suspensión (g).

$r$  = Lectura corregida del hidrómetro (g/l).

<sup>7</sup> $a$  = Coeficiente que depende del peso específico (adimensional).

---

<sup>6</sup> El valor de  $c$  es un dato obtenido previamente en el laboratorio por el Ingeniero Leonel Rodríguez.

<sup>7</sup> El valor de  $(a)$  es tomado de la tabla V-6 Celso y Ugas (1988).

### **3.11 DIFRACCIÓN DE RAYOS X.**

La cristalografía de rayos X es una técnica experimental para el estudio y análisis de materiales, basada en el fenómeno de difracción de rayos X por los sólidos en estado cristalino.

Los rayos X son difractados por los electrones que rodean los átomos por ser su longitud de onda del mismo orden de magnitud que el radio atómico. El haz de rayos X emergente tras esta interacción contiene información sobre la posición y tipo de átomos encontrados en su camino. Los cristales, gracias a su estructura periódica, dispersan elásticamente los haces de rayos X en ciertas direcciones y los amplifican por interferencia constructiva, originando un patrón de difracción. Existen varios tipos de detectores especiales para observar y medir la intensidad y posición de los rayos X difractados, y su análisis posterior por medios matemáticos permite obtener una representación a escala atómica de los átomos y moléculas del material estudiado.

### **3.12 FLUORESCENCIA DE RAYOS X.**

La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra.

### **3.13 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y A LA COMPRESIÓN.**

La resistencia a la flexión es el esfuerzo máximo que presenta un material a las fuerzas flectoras sin romperse.

### 3.13.1 Módulo de rotura.

Es la medida, expresada en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado, de la resistencia mecánica de un material a la rotura por flexión, se calcula con la siguiente Ecuación 14.

$$M = \frac{3}{2} \frac{c.d}{ae^2} \quad (14)$$

Donde:

M = Módulo de rotura, (kgf/cm<sup>2</sup>).

C = Carga a la cual fallo la probeta en (kgf o N).

d = Distancia entre líneas centrales de las cuñas de soportes inferiores (cm o mm).

a = ancho de la probetas (cm o mm).

e = Espesor de la probeta (cm o mm).

### 3.13.2 Resistencia a la compresión.

Es la medida de la resistencia mecánica de un material o esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga por compresión en determinadas condiciones, y se expresa en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado, se calcula con la Ecuación 15.

$$R = \frac{c}{A} \quad (15)$$

Donde:

R= Resistencia a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup>.

C= Carga máxima total, en kgf o N.

A= Promedio de las áreas de las dos caras, donde se aplica la carga, de la probeta, en cm<sup>2</sup> o mm<sup>2</sup>.

## 3.14 USOS INDUSTRIALES DE LAS ARCILLAS.

La constitución química y naturaleza determinan el uso y el valor de la arcilla. Según Lopez, Ascanio y Guerrero, (2003) el cuarzo disminuye la plasticidad y retracción, y contribuye a hacerla refractaria. La sílice en forma coloidal aumenta la plasticidad, la alúmina

la hace refractaria, el óxido de hierro, lo mismo que el feldespató disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente, también es un poderoso agente colorante, un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blancas de tener el 5 % menos.

Según (Ob,cit) las propiedades de las arcillas se dividen en dos grupos: el grupo cerámico y el grupo no cerámico.

#### 3.14.1. Grupo Cerámico.

Este grupo comprende los siguientes productos: Estructurales, porcelana, refractarias, potería, agregados de arcillas.

➤ Productos estructurales:

Las características de las arcillas de este grupo son básicamente: resistencia en crudo y en cocción, color de calcinación, plasticidad, temperatura de cocción, y encogimiento. En los productos están incluidos ladrillos, tejas, bloques, tubos de cerámica.

➤ Porcelana:

Las características de este grupo de arcillas es su color blanco de calcinación, que son refractarias, y a su alta temperatura de vitrificación. Dentro de este grupo se utilizan. Las arcillas denominadas “Caolines” los depósitos más importantes y puros de caolines son aquellos de origen residual.

➤ Refractarias:

Las arcillas refractarias son todas aquellas que tengan un cono pirométrico equivalente superior al 19 (1.541 °C). Generalmente importante tiene un alto porcentaje de Caolinita con algo de cuarzo libre de impureza. Se utiliza en la fábrica de ladrillos y en forma especial refractaria, es muy importante para usos en calderas u hornos de temperaturas relativamente bajas.

➤ Potería:

En este grupo se utiliza arcillas de cocción densa, con colores no necesariamente claros y con características aceptables de viscosidad.

➤ Agregados de Arcillas:

En la elaboración de agregados para concreto se utilizan arcillas con características expansibles.

#### 3.14.2. Grupo no cerámico.

Este grupo comprende los siguientes tipos de arcillas: Arcillas decolorante, arcillas absorbentes, arcillas como material de relleno en papel, caucho, linóleo, textiles fertilizantes, arcillas como pigmentos en pinturas y plásticos, arcillas como matriz en fundiciones, arcillas como lodo en perforaciones en la industria petrolera, arcilla en cemento y en infinidad de usos industriales de menor importancia, tales como catalizadores, detergentes, relleno en medicinas, impermeabilizado de suelos, coagulantes, cohetería y otros.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se presenta el marco metodológico utilizado para la elaboración de esta investigación, en el cual se indica Tipo y Diseño de la investigación, Población y Muestra, Técnicas de Recolección de datos; Instrumentos y Técnicas empleadas.

#### **4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

Este trabajo es no experimental-descriptivo. Se realiza en dos (2) etapas: en la primera se ejecutan las salidas de campo para la toma de muestras y recopilación de información técnica. En la segunda etapa se efectúan los ensayos de laboratorio con las muestras obtenidas en la primera etapa para determinar propiedades físicas químicas y mecánicas. Los datos obtenidos en campo servirán para determinar la cantidad de material acumulado; y la información obtenida de la industria se utilizara como base técnica de las propiedades utilizadas por la industria, siendo el punto comparativo con los resultados a obtener en el laboratorio así mismo se caracterizara el material estudiado para elaborar si es posible una propuesta de la utilización como materia prima.

#### **4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

La investigación se realiza en cuatro (4) fases como se muestra en la

La primera fase consiste en la búsqueda de información técnica y bibliográfica, relacionada con las arcillas como materia prima para diversos tipos de industrias. La segunda la constituye la actividad en campo, dónde se tomaran las muestras. La tercera actividad son los ensayos en la fase de laboratorio, con el fin de observar sus propiedades, conocer, determinar y así como clasificar para distintos tipos de posibles usos industriales. Por último, en el análisis se compararan los resultados obtenidos y se elaborara una propuesta para sus posibles usos.

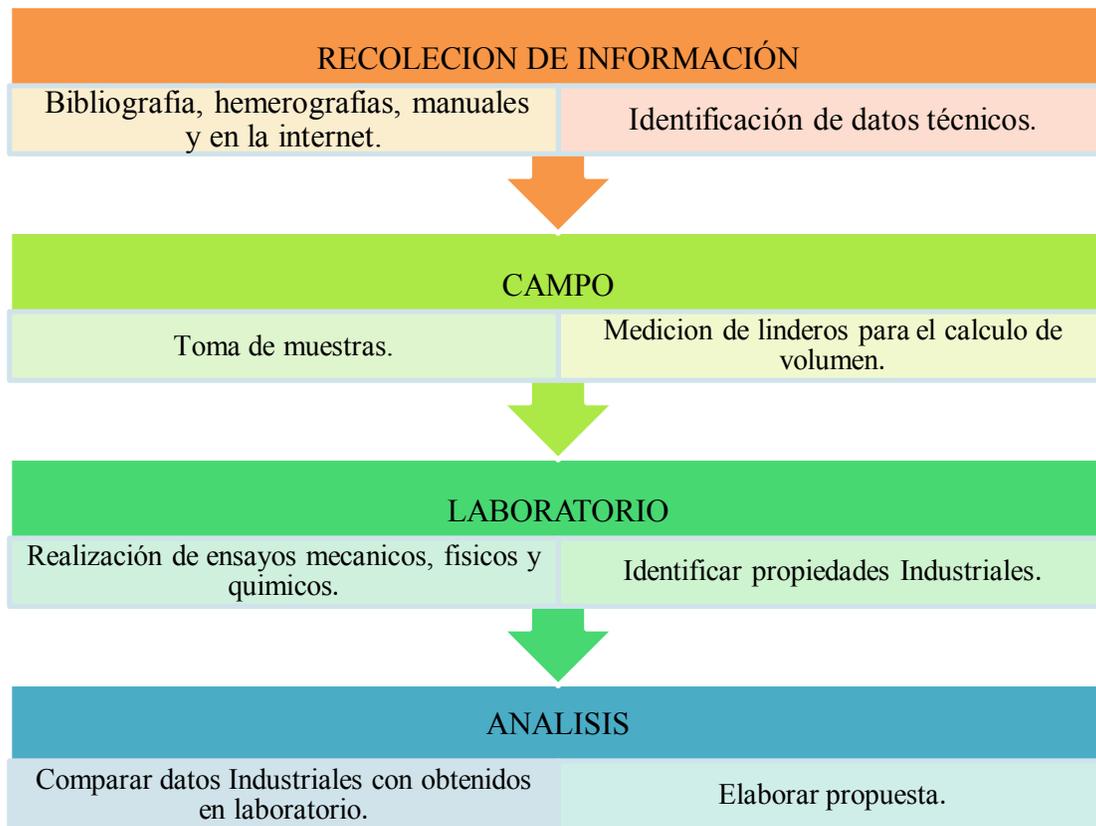


Figura N° 10. Esquema de diseño de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población está conformada por la totalidad del volumen que ocupa La Laguna de Sedimentación ubicada en las instalaciones de la empresa Arenera y Pedrera Tauro, S.A. La misma se encuentra ubicada en el terreno de la Hacienda San Rafael, Sector La Lagunita municipio Libertador estado Carabobo.

La muestra estará integrada por aproximadamente 30 kg de sedimentos, los cuales se recolectan de forma sistemática en cuatro (4) puntos alrededor de La Laguna de Sedimentación, con el fin de establecer una medida comparativa entre las cuatro muestras.

## 4.4 RECOLECCIÓN DE DATOS.

### 4.4.1 Instrumentos.

En la fase de campo se utilizan diferentes objetos en la recolección de muestras tales como:

- Tubos de P.V.C. de dos pulgadas (2") de diámetro, tapones, martillo y pega de tubos plásticos, que se utilizan para la extracción de las muestras de sedimento en la laguna.
- G.P.S. para la obtención de las coordenadas U.T.M. que se requieren en la elaboración del contorno de la laguna, necesaria en el cálculo de área y volumen.

En el laboratorio se utilizan diferentes herramientas así como equipos para la determinación de las diferentes propiedades químicas, físicas y mecánicas, los cuales se mencionan en el proceso de ensayo.

### 4.4.2 Procedimiento.

La metodología de la investigación se realizó en el siguiente orden sistemático que se presenta en la Figura N° 11.

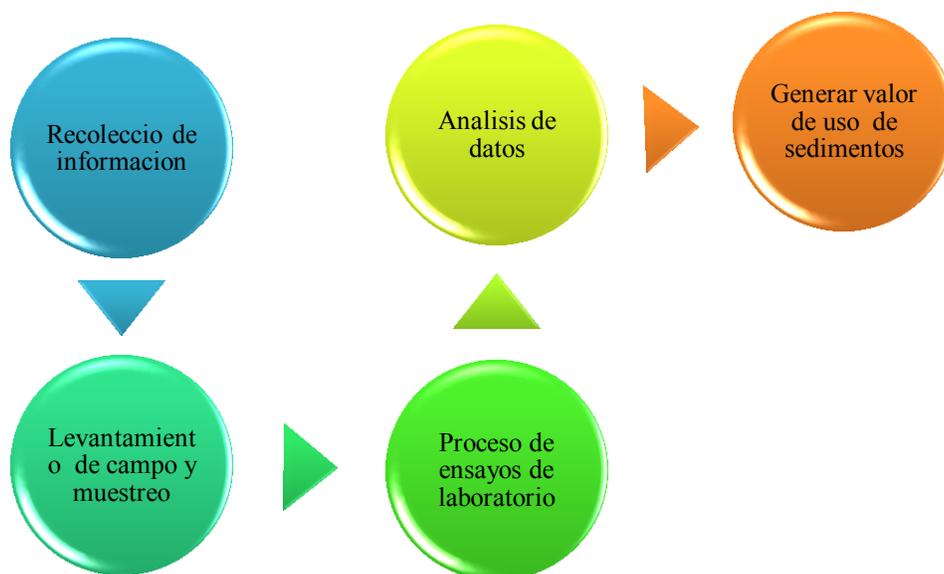


Figura N° 11. Esquema metodológico en la recolección y procesado de la información.

#### **4.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.**

La recolección de información se realiza a lo largo de todo el proyecto empezando por bibliografías, revistas geológicas, resúmenes publicados en diversas páginas *web*, fotografías satelitales de la zona en estudio y mapas cartográficos. En un siguiente avance se realizaron visitas a empresas que utilizan como materia prima arcillas y en un último paso se realizaron visitas al Centro de Asistencia de la Industria Cerámica, ubicado en el Instituto Universitario Tecnológico Región Capital en dónde se obtuvo un aporte importante de conocimiento técnico.

#### **4.6 LEVANTAMIENTO EN CAMPO Y MUESTREO.**

En la primera etapa, se realiza una visita a la empresa, con el fin de observar las condiciones de La Laguna de Sedimentación objeto de este estudio, así como del material proveniente de los frentes de extracción y el proceso de separación en la planta de beneficio.

Con toda la información necesaria ordenada sistemáticamente, se procede a hacer el análisis, primero se identifica la zona de extracción de la muestra para lo cual se divide La Laguna de Sedimentación en cuatro (4) partes que se observan en la Figura N° 12 y se toma una muestra en cada división, a una distancia de dos (2) metros aproximadamente del borde interno del contorno de la misma, con la disposición a la toma de una muestra representativa por zona dividida en La Laguna de Sedimentación, de la cual se obtuvieron un total de cuatro (4) testigos. Para la extracción de la muestra se utiliza una analogía al método Shelby. Debido a los escasos recursos disponibles se utiliza un tubo plástico (P.V.C.) de (2") de diámetro introduciendo tres (3) metros en los puntos determinados de la Laguna de Sedimentación, luego se coloca una tapa para lograr un vacío que succione los sedimentos y haga una mayor fuerza de empuje al extraer el tubo y obtener el testigo, este es un método análogo a aquellos sondeo definitivo a un bajo costo y siendo el objetivo extraer una muestra del fondo sin importar que sea una muestra alterada, ya que el fin perseguido es de obtener datos físicos y químicos de muestras totales y homoginizadas y no el de elaborar ensayos mecánicos

directos sobre las muestras obtenidas inalteradas que buscan otros objetivos distintos a los que persigue este trabajo.



Figura N° 12. División por sectores de La Laguna de Sedimentación para la toma de muestras. Fuente: Imagen Google Maps, modificada.

#### **4.7 PROCESO DE ENSAYO EN LABORATORIO.**

A continuación se describirá brevemente los diferentes procesos en laboratorios para obtener los datos necesarios en los análisis.

##### **4.7.1 Desintegración en agua.**

Este ensayo se utiliza para estudiar la susceptibilidad de un trozo de muestra al ser sumergida en agua. Los resultados de la prueba pueden ser: desintegración total o parcial en diferentes modalidades (polvo, hojuelas, exfoliación y otras); desintegración nula, desintegración con hinchamiento y otras.

Instrumentos y equipos:

- *Beaker.*
- Agua destilada.

- Horno eléctrico.
- Molde de madera.

Muestra:

50 g de material homogéneo.

Procedimiento:

La prueba se realiza en el Laboratorio de Extractiva y Beneficio Mineral, ubicado en la Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales de la U.C.V.; Para ello se tomó parte de la muestra ya homogenizada y se colocó en un molde previamente elaborado de forma cúbica, el cual debe contener 50 g de la muestra aproximadamente. Se procede a secar a temperatura ambiente durante 24 horas para luego colocarlo posteriormente en un horno a 110 °C hasta obtener un peso constante.

Una vez enfriado a temperatura ambiente se procede a colocar el trozo cúbico en un *beaker* agregando lenta y cuidadosamente el agua destilada sin que se desmorone la muestra, llevando el nivel del agua cerca de dos centímetros por encima del trozo cúbico.

Después de una hora de asentado el líquido se hace una observación describiendo lo ocurrido.

Luego de 24 horas se hace una nueva observación final describiendo sus características:

- a. Parcial (apreciando fracción desintegrada de la muestra de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$ , total o nula).
- b. Naturaleza del material desintegrado: pulverulento (fino, grueso), granular, gelatinosos, grumoso u otros.
- c. Estado de turbidez del líquido (alta, mediana o baja).

#### 4.7.2 Grado de hinchamiento

La prueba se realiza en el Laboratorio de Extractiva y Beneficio Mineral, la misma se utiliza para la determinación del hinchamiento de una muestra luego de 24 horas en agua, se constituye en una ayuda en la clasificación de arcillas montmoriloníticas como sub-bentonitas y bentonitas.

Instrumentos y equipos:

- Probeta de 100 ml.

- Embudo.
- Agua destilada.

Muestra:

Se utilizan 2 g de la muestra homogénea.

Procedimiento:

En una probeta de 100 ml se coloca 60 ml de agua destilada y se vierten 2 g de muestra mediante un embudo descolado y de amplio paso. Se mide el volumen inicial y nuevamente luego pasada 24 horas y se compara el mismo.

#### 4.7.3 Poder de adsorción (*kerosene*).

Este ensayo se requiere para determinar el grado de adsorción de una arcilla para ser utilizado como producto inerte en insecticidas.

El ensayo se realiza en la Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales de la U.C.V.

Instrumentos y equipos:

- Tamiz # 20.
- *Kerosene*.
- Balanza analítica.
- Espátula de hoja metálica.
- Mortero.
- Bureta.
- Agitador de vidrio.

Muestra:

Se utilizan 100 g de muestra seca con una finura superior al tamiz # 100.

Procedimiento:

Se agregan 20 g de *kerosene* a la muestra de arcilla y se procede a homogenizar esta mezcla a mano, seguido se procede a pasar este producto a través de un tamiz # 20. Luego se agrega 5g de *kerosene* mezclando y pasando el producto por el tamiz # 20. Este proceso se

repite hasta que el producto obtenga una consistencia pastosa y no logre pasar el tamiz # 20. El resultado se reporta como gramos de *kerosene* adsorbidos por 100 g de muestra.

#### 4.7.4 Poder de absorción.

Este proceso se utiliza para la determinación de absorción de aceite de una arcilla utilizable en pinturas, como relleno y como pigmento.

Instrumentos y equipos:

- Balón de 300 ml.
- Aceite de linaza.
- Bureta.
- Balanza analítica.

Muestra:

4 g de arcilla seca y pasante del tamiz # 100.

Procedimiento:

La muestra se añade en un balón de 300 ml, agregando por goteo el aceite de linaza y agitando con movimiento circulares constantes. Esto se repite hasta obtener una esfera o varias esferas pequeñas y se detiene en el punto en donde se empieza a mojar las paredes del balón.

Se reporta como gramos de aceite de linaza absorbido por 100 gramos de muestra.

#### 4.7.5 Poder de decoloración (Azul de metileno).

Este ensayo da una idea preliminar del grado de actividad de una arcilla en decoloración por absorción.

Instrumentos y equipos:

- Bureta.
- Balanza analítica.
- Balón aforado de 250 ml.

- Agua destilada.
- Equipo fotocolorímetro.
- Azul de metileno.
- Diversos instrumentos básicos de laboratorio.

Muestra:

100 g de muestra sin alterar.

Procedimiento:

Los patrones de comparación se elaboran de la siguiente manera: se prepara una solución de un gramo de azul de metileno por un litro de agua destilada y se agregan a los balones cantidades crecientes de esta solución, seguido se aforan con agua destilada hasta la marcara. Estas soluciones determinan la absorbancia y transmitancia que servirán de punto de comparación.

Para la adsorción se preparan soluciones de 20 mg/l de la solución inicial en balones de 250 ml y se le agregan cantidades crecientes de la muestra luego se procede a agitar vigorosamente por un periodo de tiempo de 5 minutos y se guardan en un lugar oscuro. El ensayo se reporta en gramos de azul de metileno decolorados por adsorción a las 24 horas.

#### 4.7.6 Medición de pH

El pH de es de suma importancia en diversos usos industriales, tales como inertes en insecticidas, lodos de perforación, etc.

La prueba se realiza en un laboratorio privado ubicado en la zona metropolitana de Caracas, y del cual su identidad y ubicación consideramos no debe ser revelada.

Se prepara una suspensión de arcilla al 10% en agua destilada en un agitador eléctrico de alta velocidad. Se deja en reposo hasta lograr tener equilibrio de las partículas en suspensión o hasta la sedimentación total. La medición del pH se logra con un potenciómetro.

#### 4.7.7 Color natural.

El objeto de este ensayo es establecer el color de la arcilla en su estado natural previo a cualquier ensayo, bajo los parámetros de comparación de color establecidos.

Instrumentos y equipos:

- Tamiz # 100.
- Vidrio de reloj.
- Tablas comparativas de color.

Muestra:

Se utiliza aproximadamente 5 g de material pasante del tamiz # 100.

Procedimiento:

Se agrega la muestra al plato de vidrio y se compara con las tablas de color de *Munsell* registrando el color más próximo a la escala de color referida.

#### 4.7.8 Color Calcinado

Este ensayo se realiza para determinar el color que adquiere la arcilla después de calcinar a 1000 °C.

Instrumentos y equipos:

- Crisol.
- Horno eléctrico.
- Vidrio de reloj.
- Tablas comparativas de color.

Muestra:

El ensayo utiliza aproximadamente 5 g de material pasante del tamiz # 100.

Se llenan dos crisoles de platino o de porcelana con 5 g de material pulverizado pasante de tamiz # 100, se calienta durante dos horas a 1000 °C. Posterior se deja enfriar paulatinamente y se observa el color adquirido comparándolo con la escala de referencia.

#### 4.7.9 Plasticidad.

Los límites de consistencia para determinar la plasticidad se llevaron a cabo en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil. Bajo las norma ASTM D4318

Instrumentos y equipos:

- Aparato de A. Casagrande.
- Ranuradora, tipo ASTM.
- Cilindro graduado.
- Balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno.
- Desecador de vidrio.
- Tamiz # 40.
- Agua destilada.
- Espátula de hoja flexible.
- Mortero.

Muestra:

200 g de material pasante del tamiz # 40.

Procedimiento:

En un envase se agregan los 200 g del material pasante de la malla # 40, se le agrega agua destilada, seguido se procede al mezclando con la espátula hasta obtener una pasta suave, uniforme y espesa. Posterior se guarda en un envase con tapa durante 24 horas para lograr la distribución uniforme de la humedad por todos los granos. Pasada el lapso de tiempo de reposo se procede a seguir las instrucciones de Casagrande y determinar el límite líquido, límite plástico y plasticidad.

#### 4.7.10 Contracción a 105° C

El ensayo se realiza para determinar la Contracción por Cocción en un horno a temperatura controlada. Ensayo propuesto según la Norma ASTM C-326.

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura constante de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .
- Mortero.
- Removedor de vidrio.

- Trituradora.
- Recipiente.
- *Vernier*.
- Balanza analítica.
- Agua destilada.
- Moldes de madera.

Muestreo:

Se utiliza aproximadamente 60 g de material pasante del tamiz # 200.

Procedimiento:

Se añade la muestra en un recipiente agregando agua hasta obtener una consistencia plástica. Dejamos reposar por un lapso de 12 horas. Posteriormente se amasa de nuevo y realizamos moldes de forma rectangular de 1x1x1 cm. Se hacen muescas en las muestras y dejan reposar por 24 horas la cual es la etapa de curado. Seguido colocamos las muestras en el horno a una temperatura constante de 100 °C por un lapso de 24 horas siendo la misma la última etapa de secado. Se mide la longitud de la muestra y registrando los datos, luego se calcula el porcentaje de contracción a los 110 °C, mediante la Ecuación 4.

#### 4.7.11 Contracción a calcinación.

El ensayo se realiza para determinar la Contracción por Cocción hasta la calcinación en un horno a temperaturas de 900, 1000, 1100 y 1200 °C controlando el aumento de temperatura de forma gradual de dos horas cada aumento. Ensayo propuesto según la Norma ASTM C-326.

Instrumentos y equipos:

- Horno eléctrico.
- *Vernier*.

Procedimiento:

Se utilizan las muestras del ensayo anterior y se llevan al horno por 12 horas, en las cuales las primeras 6 horas la temperatura se va incrementando hasta llegar a 900 °C seguido

se aumenta la temperatura a 1000, 1100 y 1200 °C cada dos horas manteniendo estas últimas a temperatura constante.

Se mide la longitud de la muestra en frío y se registran los datos obtenidos, utilizando la Ecuación 5, para calcular el porcentaje de contracción total se utiliza la Ecuación 16.

$$\% \text{ Contracción total} = \% C_{1200\text{ °C}} + \% C_{110\text{ °C}} \quad (16)$$

#### 4.7.12 Tamaño de partícula.

El ensayo determina la distribución granulométrica la cual es necesaria para ciertas industrias que requieren materia prima con un tamaño de partícula específica.

Los ensayos se realizan en dos laboratorios consecutivamente, en el Laboratorio de Beneficio Mineral ubicado en la Escuela de Metalurgia y Ciencias de los Materiales de la U.C.V. y en el Laboratorio de Mecánica de Suelos ubicado en el I.M.M.E., la granulometría gruesa se realiza en el Laboratorio de Beneficio Mineral y la sedimentación por hidrómetro en el Laboratorio de Mecánica de Suelos.

Los procesos de ensayos se efectúan bajo las normas ASTM D-6913 Y ASTM D-422.

ASTM D-6913.

Instrumentos y equipos:

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,01 g.
- Juego de tamiz *Tyler*.
- Vibrador mecánico.
- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C.
- Utensilios de laboratorio.

Muestreo:

Se utilizan aproximadamente 250 g de muestra representativa ya cuarteada de la muestra original.

Procedimiento:

Se seca la muestra en un horno a una temperatura constante de 100 a 110 °C por un lapso de 24 horas. Luego se coloca la muestra en el juego de tamices y un recipiente al fondo en donde se recogerá el material fino pasante de la malla # 200 serie *Tyler* y se coloca en la maquina vibradora al mismo tiempo que se agrega agua hasta que no se logre pasar más material por los tamices.

Todo el material retenido en las mallas se recoge en bandejas de aluminio previamente pesadas y enumeradas que se colocan en un horno a temperatura constante por 24 horas para luego ser pesadas con el material. Seguido se realizan los cálculos y grafican los resultados. Para el cálculo de los porcentajes se utilizan las Ecuaciones 17, 18 y 19.

$$\% \text{Retenido } i = \frac{\text{Peso ret En tamiz } i}{\text{Peso total}} \times 100 \quad (17)$$

$$\text{Peso retenido } i \text{ acumulado} = \text{Peso ret } i + \text{Peso Ret } i-1 \quad (18)$$

$$\% \text{Pasante } i = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso ret acumulado}}{\text{Peso total}} \times 100 \quad (19)$$

ASTM D-422

Instrumentos y equipos:

- Defloculante.
- Cilindro aforado a 1000ml.
- Espátula.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,01g.
- Agitador de vidrio.
- Termómetro.
- Hidrómetro modelo 152H.
- Cronómetro.

Muestreo:

Se toman 50 g del material pasante del tamiz # 200 del ensayo anterior.

Procedimiento:

Se coloca el material en el cilindro graduado, se agrega 5 g de desfloculante y se afora con agua destilada dejando reposar por un lapso de 24 horas. Luego de 24 horas se agita el recipiente por un lapso de 5 min inmediatamente de terminar el agitado se coloca el hidrómetro lentamente sin producir turbulencia. Se tabula la lectura del hidrómetro cuando comience a flotar al pasar 0.5, 1 y 2 min después de los cuales se retira el hidrómetro y se registra la temperatura del agua sin producir turbulencias en el cilindro. Seguidamente se toman lecturas del hidrómetro a los 5, 10, 15, 20 y 30 min seguidos se registra la temperatura nuevamente. Se repite la operación a 1, 2, 4 y 24 horas.

Para los cálculos se utilizan la Ecuación 10, 11, 12 y 13. Se procede Luego a graficar los resultados en conjunto con los datos del ensayo anterior.

#### 4.7.13 Absorción de agua.

Este ensayo se realiza a las probetas resultantes del ensayo de contracción por calcinación y bajo la norma de Métodos de Ensayo de los Bloques de Arcilla, para lograr determinar el porcentaje de humedad.

Instrumentos y equipos:

- Balanza analítica.
- Horno eléctrico.
- Agua destilada.
- Plancha eléctrica.

Muestreo:

Se utilizan las probetas del ensayo de contracción por calcinación.

Procedimiento:

Las muestras se secan en horno a una temperatura de 110 a 115 °C por 24 horas o hasta peso constante. Se obtiene el peso en seco y luego se procede a sumergir las muestras en agua destilada llevando a punto de ebullición por un lapso de 1 hora. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se escurre el agua de cada probeta secándolas con un trapo húmedo y se pesan inmediatamente tabulando los datos.

El porcentaje de agua por absorción se calcula mediante la Ecuación 20.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{P_s - P_h}{P_h} \times 100 \quad (20)$$

#### 4.7.14 Peso específico.

El peso específico del suelo (G) se muestra en la Ecuación 21 siendo un valor adimensional y se define como la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas del suelo y el peso unitario del agua destilada a una temperatura de referencia, generalmente a 4 °C ya que ( $\gamma_{w4\text{ °C}}$ ) = 1,000 g/cm<sup>3</sup>.

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w4\text{ °C}}} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (21)$$

G = Peso específico del suelo (adimensional).

$\gamma_s$  = Peso unitario de las partículas de sólido (g/cm<sup>3</sup>).

$\gamma_{w4\text{ °C}}$  = Peso unitario del agua destilada (g/cm<sup>3</sup>).

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua destilada (g/cm<sup>3</sup>).

$V_s$  = Volumen de sólido (cm<sup>3</sup>).

$W_s$  = Peso del suelo (g).

Para determinar el peso específico se sigue el procedimiento descrito por los ingenieros Celso y Ugas (1985), para efectos de cálculos se utilizara la Ecuación 22.

Instrumentos y equipos:

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 g marca setra modelo BL-410S.
- Picnómetro modelo Humboldt de 100,10 ml.
- Agua destilada.
- Termómetro con sensibilidad de 0,2 °C.
- Embudo.
- Bomba de vacío.
- Desecador al vacío.

➤ Utensilios de laboratorio.

Muestreo:

Se utilizaron 25 g de material pasante del tamiz # 10 serie *Tyler* ya cuarteado de la muestra representativa.

Procedimiento:

Se pesa el picnómetro tres veces luego se agrega el material arcillosos y se pesa nuevamente, seguido se agrega lentamente el agua destilada y deslizando por una mesa para mezclar sin producir burbujas de aire. Se procede luego a introducir en un desecador al vacío como se muestra en la Figura N° 14 y se conecta una bomba de vacío por un lapso de una hora. Pasado este tiempo se agrega agua hasta la marca de aforamiento agitando continuamente con movimientos suaves, para luego colocarlo al vacío por una hora. Transcurrido este lapso se procede a tapar el picnómetro pesando nuevamente y se procede a calcular el peso específico con la Ecuación 22.

$$G = \frac{W_s}{W_s + W_2 - W_1} \times G_{wt} \quad (22)$$

G = Peso específico del suelo (g).

W<sub>s</sub> = Peso del suelo seco (g).

G<sub>wt</sub> = Peso específico del agua.

W<sub>1</sub> = Peso del picnómetro con suelo y agua (g).

<sup>8</sup>W<sub>2</sub> = Peso del picnómetro con agua (g). Calculado de la gráfica de calibración.

---

<sup>8</sup>(W<sub>2</sub>) se obtiene como dato del laboratorio en donde el picnómetro ha sido calibrado previamente por el Ingeniero Leonel Rodriguez, y utilizando la ecuación de la recta como se muestra en la Figura N° 13.

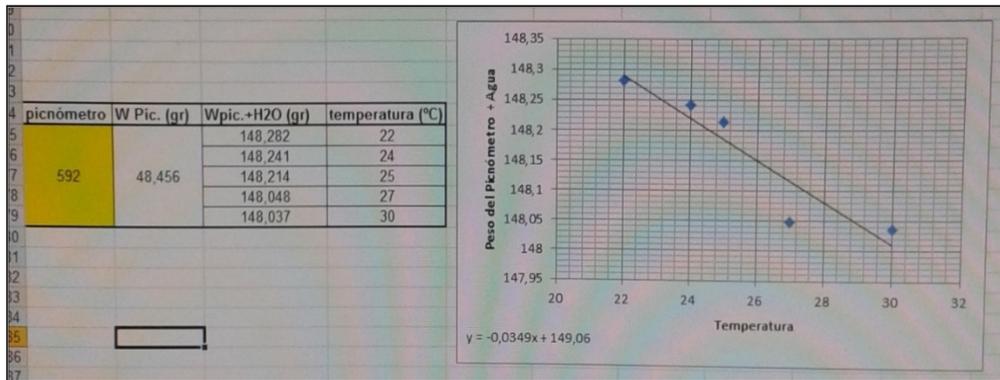


Figura N° 13. Grafica de calibración del picnómetro 592. Fuente: Comunicación personal con el Ingeniero Leonel Rodriguez.



Figura N° 14. Picnómetro y desecador al vacío junto a bomba. Fuente: Elaboración propia.

En los anexos se muestran imágenes de algunos de los ensayos realizados así como imágenes de la Laguna de Sedimentación.

# CAPÍTULO V

## RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de igual manera, se muestran las gráficas y cuadros de resultados, los cuales serán analizados seguidamente.

### 5.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).

En la Figura N° 15, 16, 17 y 18 se representan los difractogramas de rayos X correspondientes a las muestras 1, 2, 3 y 4 respectivamente, tomadas de las diferentes ubicaciones de la Laguna de Sedimentación.

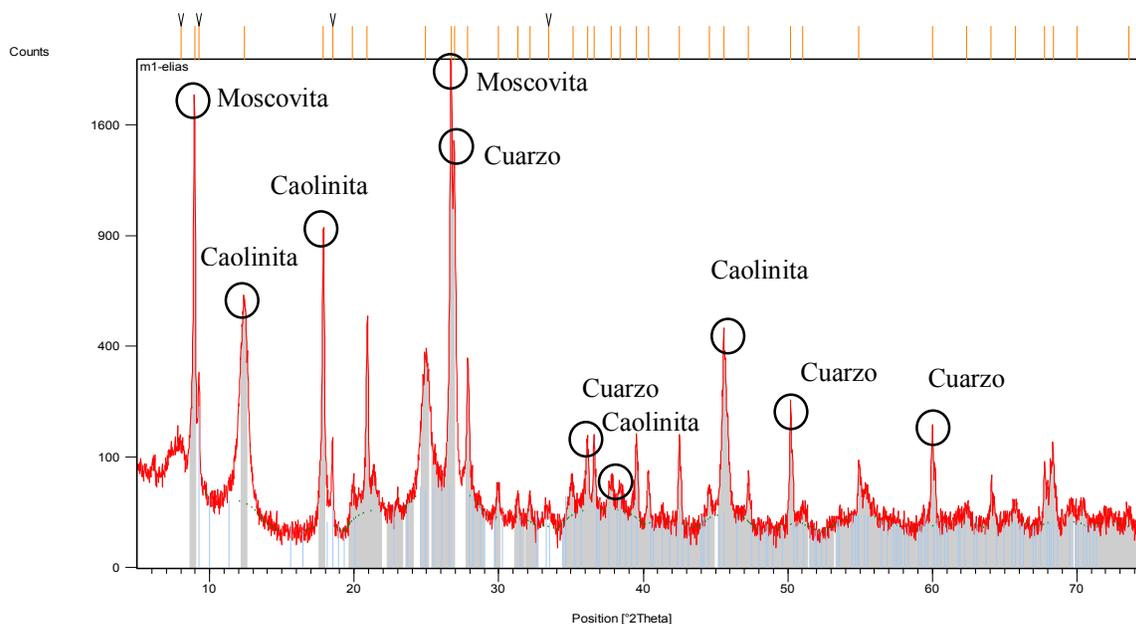


Figura N° 15. Difractograma de la muestra 1.

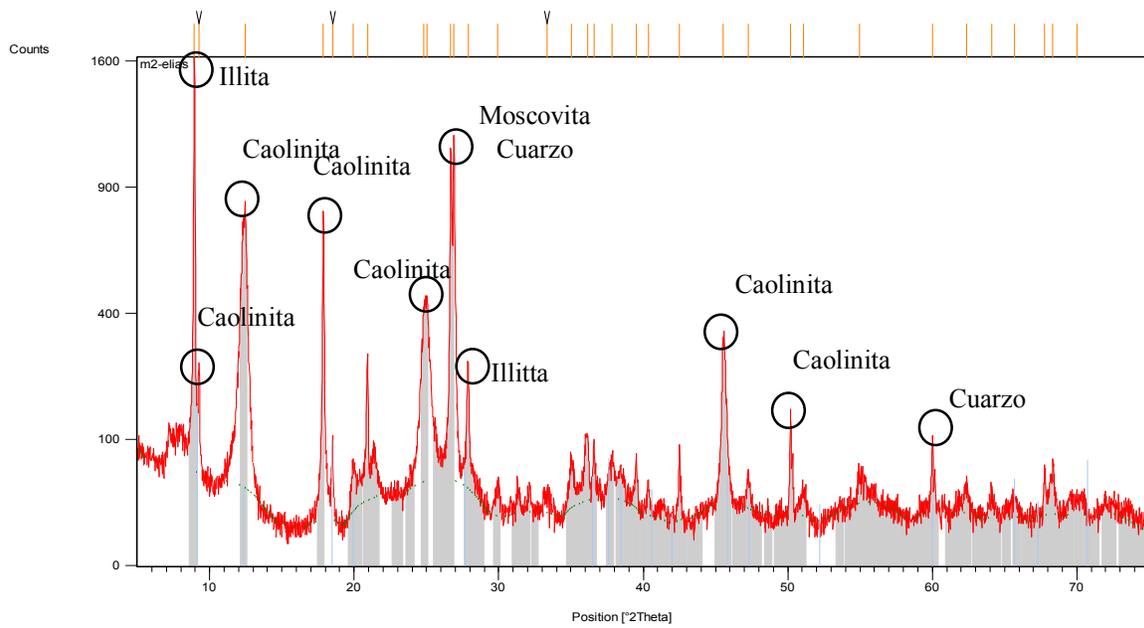


Figura N° 16. Difractograma de la muestra 2.

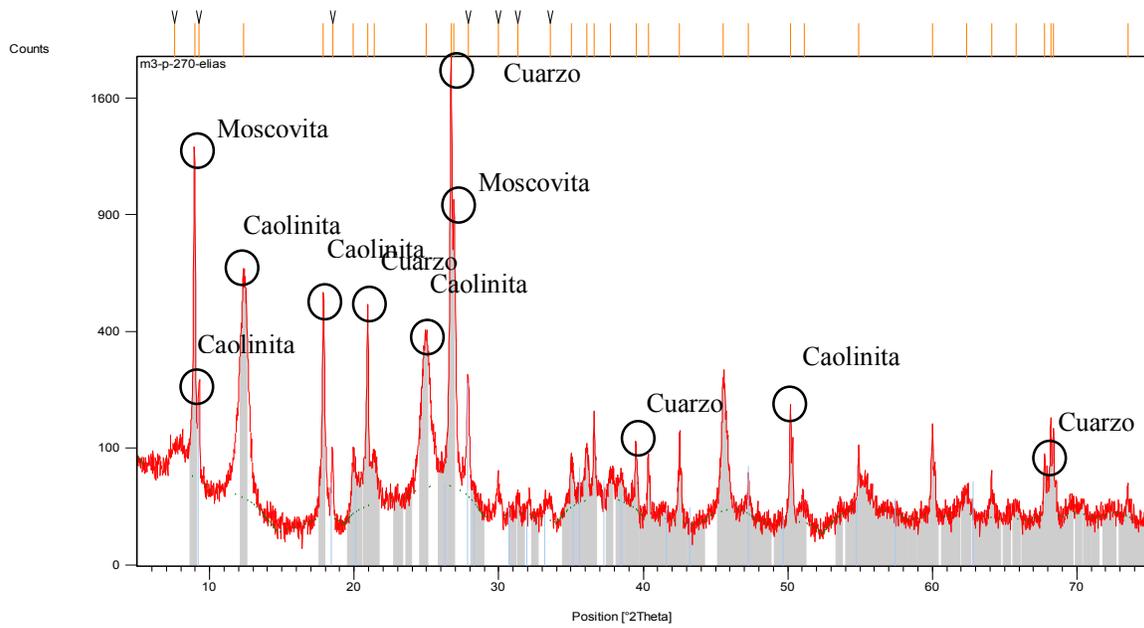


Figura N° 17. Difractograma de la muestra 3.

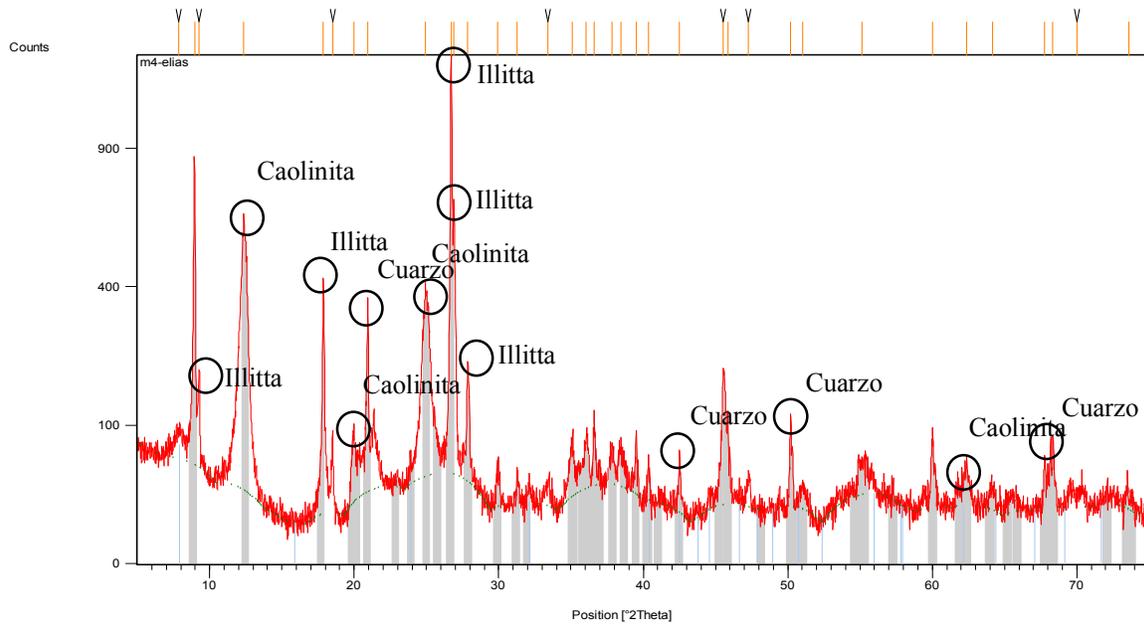


Figura N° 18. Difractograma de la muestra 4.

En las muestras ensayadas se identificaron cuatro minerales siendo consistente en las cuatro gráficas de difractogramas el cuarzo y caolinita, sin embargo solo en dos de las muestras los picos de lo difractogramas identificaron illita y moscovita. En los resultados obtenidos por la DRX los cuatro minerales que se identifican son:

- Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).
- Moscovita ( $\text{Si}_3\text{O}_{10} \text{KAl}_3 (\text{OH})_2$ ).
- Caolinita ( $\text{Si}_2\text{O}_5 \text{Al}_2(\text{OH})_4$ ).
- Illita ( $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ).

## 5.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA

En la Tabla N° 1 se tabula los pesos retenidos en los distintos tamices.

Tabla N° 1. Datos obtenidos a partir de los pesos retenidos por vía húmeda con los diferentes tamices.

<i>Tamiz</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Muestra 1 retenido (g)</i>	<i>Muestra 2 retenido (g)</i>	<i>Muestra 4 retenido (g)</i>	<i>Total de muestra (g)</i>
<i>T-20</i>	0,85	0	0	0	250
<i>T-40</i>	0,425	0	0	0	
<i>T-100</i>	0,15	5,72	0,72	2,7	
<i>T-170</i>	0,09	18,8	4,39	4,2	
<i>T-200</i>	0,075	8,89	3,36	6,5	
<i>T-270</i>	0,053	14	8,34	14,3	
<i>Finos</i>	<0,053	198	226,5	215,8	

En la Tabla N° 2, 3, 4 y 5 están los datos obtenidos a partir de mediciones hechas con: el hidrómetro, cronómetro y termómetro; los anteriores se emplean para el cálculo de tamaño de partícula por el método del hidrómetro con sus respectivos resultados.

Tabla N° 2. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 1

<i>Muestra 1</i>					
<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (g/l)</i>	<i>Zr</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Diámetro (<math>\mu</math>m)</i>	<i>% suspensión</i>
0,5	47	9,23	0,0549	54,861	82,57
1	46	9,39	0,0391	39,134	80,93
2	41	10,21	0,0288	28,848	72,75
5	33	11,51	0,0194	19,375	59,65
10	26	12,65	0,0144	14,363	48,19
15	23	13,14	0,0120	11,952	43,28
20	21	13,47	0,0105	10,479	40,01
25	20	13,63	0,0094	9,429	38,37
30	19	13,79	0,0087	8,659	36,73
60	16	14,28	0,0062	6,230	31,82
120	13	14,77	0,0045	4,480	26,91
240	12	14,93	0,0032	3,185	25,27
1440	8	15,59	0,0013	1,343	18,73

Tabla N° 3. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 2

*Muestra 2*

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (g/l)</i>	<i>Zr</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Diámetro (μm)</i>	<i>% suspensión</i>
0,5	49	8,90	0,0539	53,884	98,81
1	48	9,07	0,0384	38,449	96,92
2	45	9,55	0,0279	27,911	91,27
5	40	10,37	0,0184	18,390	81,85
10	35	11,18	0,0135	13,505	72,43
15	32	11,67	0,0113	11,265	66,78
20	30	12,00	0,0099	9,891	63,01
25	28	12,33	0,0090	8,966	59,24
30	27	12,49	0,0082	8,239	57,35
60	23	13,14	0,0060	5,976	49,82
120	20	13,63	0,0043	4,304	44,17
240	17	14,12	0,0031	3,097	38,51
1440	12	14,93	0,0013	1,300	29,09

Tabla N° 4. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 3.

*Muestra 3*

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (g/l)</i>	<i>Zr</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Diámetro (μm)</i>	<i>% suspensión</i>
0,5	38	10,70	0,0591	59,061	83,71
1	36	11,02	0,0424	42,394	79,67
2	34	11,35	0,0304	30,417	75,63
5	30	12,00	0,0198	19,783	67,55
10	27	12,49	0,0143	14,271	61,49
15	25	12,81	0,0118	11,803	57,45
20	24	12,98	0,0103	10,287	55,43
25	23	13,14	0,0093	9,258	53,41
30	22	13,30	0,0085	8,504	51,39
60	19	13,79	0,0061	6,123	45,33
120	16	14,28	0,0044	4,405	39,27
240	14	14,61	0,0032	3,150	35,23
1440	10	15,26	0,0013	1,329	27,15

Tabla N° 5. Mediciones de tiempo y volumen en los cilindros aforados, utilizados en el cálculo de tamaño de partículas de la muestra 4.

*Muestra 4*

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Volumen (g/l)</i>	<i>Zr</i>	<i>Diámetro (mm)</i>	<i>Diámetro (µm)</i>	<i>% suspensión</i>
0,5	51	8,58	0,0529	52,888	97,79
1	50	8,74	0,0378	37,751	96,00
2	46	9,39	0,0277	27,672	88,81
5	43	9,88	0,0180	17,951	83,42
10	39	10,53	0,0131	13,105	76,24
15	37	10,86	0,0109	10,865	72,65
20	34	11,35	0,0096	9,619	67,26
25	32	11,67	0,0087	8,726	63,66
30	31	11,84	0,0080	8,021	61,87
60	26	12,65	0,0059	5,864	52,89
120	23	13,14	0,0042	4,226	47,50
240	19	13,79	0,0031	3,061	40,31
1440	12	14,93	0,0013	1,300	27,74

Utilizando las Ecuaciones 10, 11, 12 y 13 se obtienen los diferentes tamaños de partículas así como sus respectivos porcentajes. En la Figura N° 19, 20, 21 y 22 se ven las distribuciones granulométricas obtenidas en los dos métodos empleados.

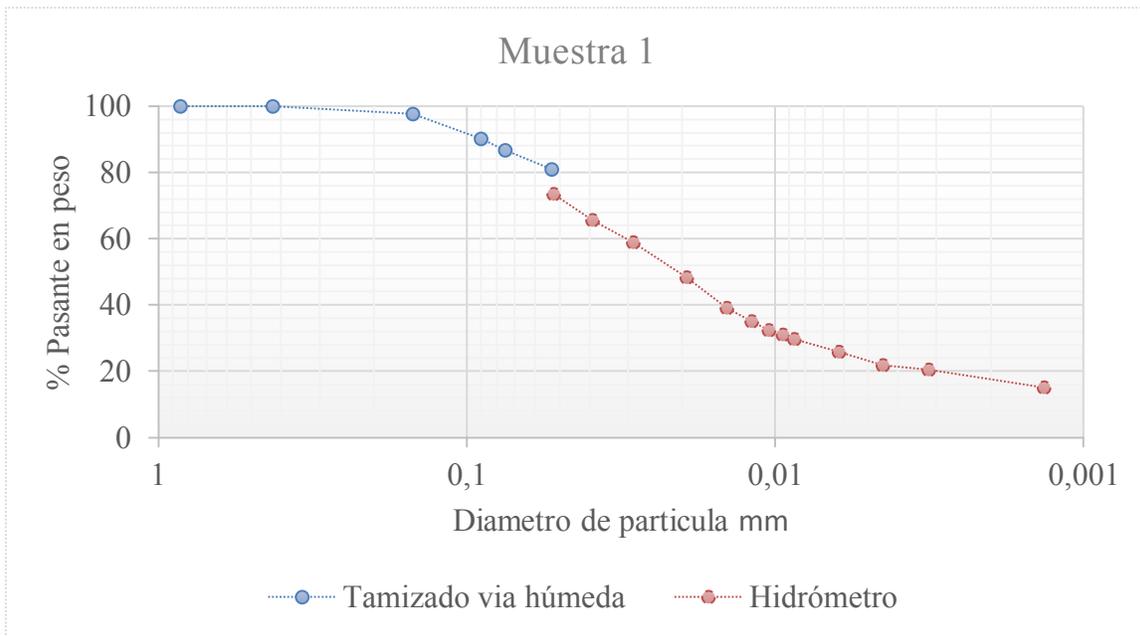


Figura N° 19. Distribución granulométrica de la muestra 1 en micrómetros.

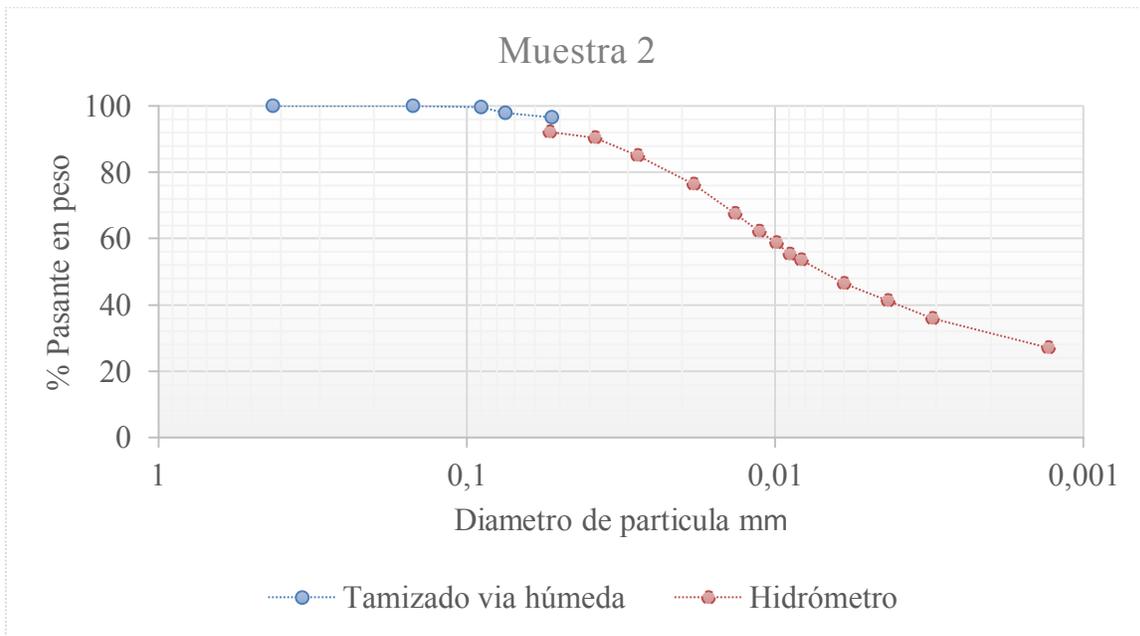


Figura N° 20. Distribución granulométrica de la muestra 2 en micrómetros.

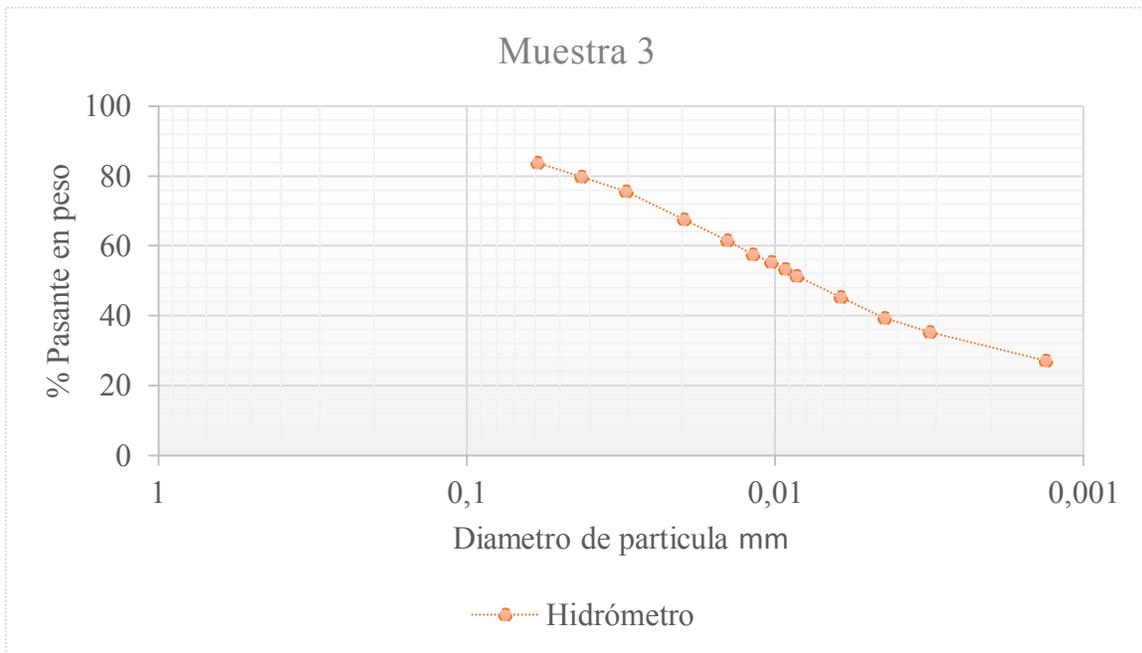


Figura N° 21. Distribución granulométrica de la muestra 3 en micrómetros.

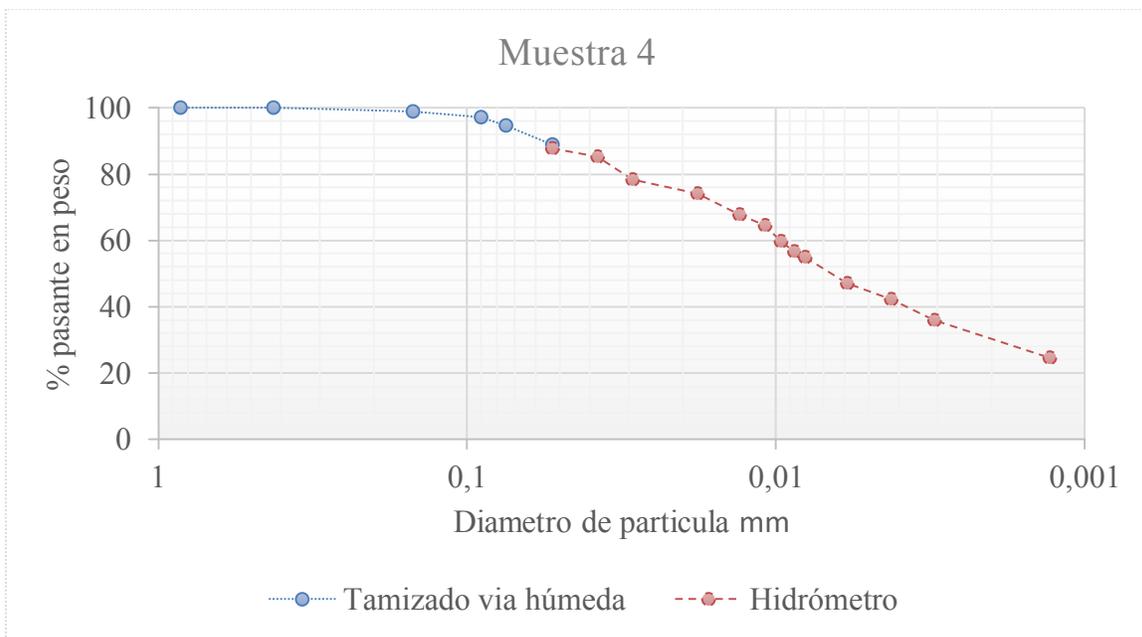


Figura N° 22. Distribución granulométrica de la muestra 4 en micrómetros.

De la Tabla N° 1 se obtienen los porcentajes pasantes de la malla #200 de los cuatro puntos de extracción de La Laguna de Sedimentación, los cuales fueron pasantes en más del 50 % del material. Según el S.U.C.S. se puede determinar que el material es un suelo limoso o arcilloso, los cuales se le asigna la sigla **M** o **C**, respectivamente.

### 5.3 PLASTICIDAD DEL SUELO

En las Tabla N° 6, se muestran los datos obtenidos a partir de las muestras 1, 2 y 4, así mismo se observa en la tabla mencionada una materia prima proveniente de una alfarería, estos datos son utilizados para los cálculos de LL.

Tabla N° 6. Pesos y # de golpes de los diferentes ensayos propuestos por Casagrande.

	<i>Tara</i>	<i>Peso tara</i> (g)	<i>Peso húmedo</i> (g)	<i>Peso seco</i> (g)	<i>Golpes</i>	<i>Humedad</i> (%)
<i>Muestra 1</i>	32A	6,13	11,27	9,26	13	64,22
	3006	10,40	16,09	14,04	27	56,32
	99-33	7,58	12,31	10,70	41	51,60
<i>Muestra 2</i>	25-76	7,66	14,20	11,58	12	67,10
	31A	12,79	20,43	17,69	28	56,02
	2999	9,55	15,88	13,80	43	48,84
<i>Muestra 4</i>	31A	8,81	16,47	13,31	13	70,25
	65	14,45	23,91	20,52	26	55,84
	35A	11,08	18,90	16,36	43	48,14
<sup>9</sup> <i>Alfarería</i>	57	5,98	12,09	10,04	12	50,49
	9A	8,6	14,56	12,69	29	45,72
	68	6,32	12,22	10,38	39	45,32

Utilizando la Ecuación 1, 2 y 3, así como, los métodos establecidos por la norma ASTM D 4318 se obtienen los resultados del LL se muestran en las Figura N° 23, 24, y 25, los mismos se presentan en la Tabla N° 8.

<sup>9</sup> La materia prima utilizada como punto de comparación es proveniente de una alfarería ubicada en la zona de Caracas y se utiliza para establecer una medida comparativa con respecto a la plasticidad requerida en las máquinas de extrusión de moldes de bloques para construcción.

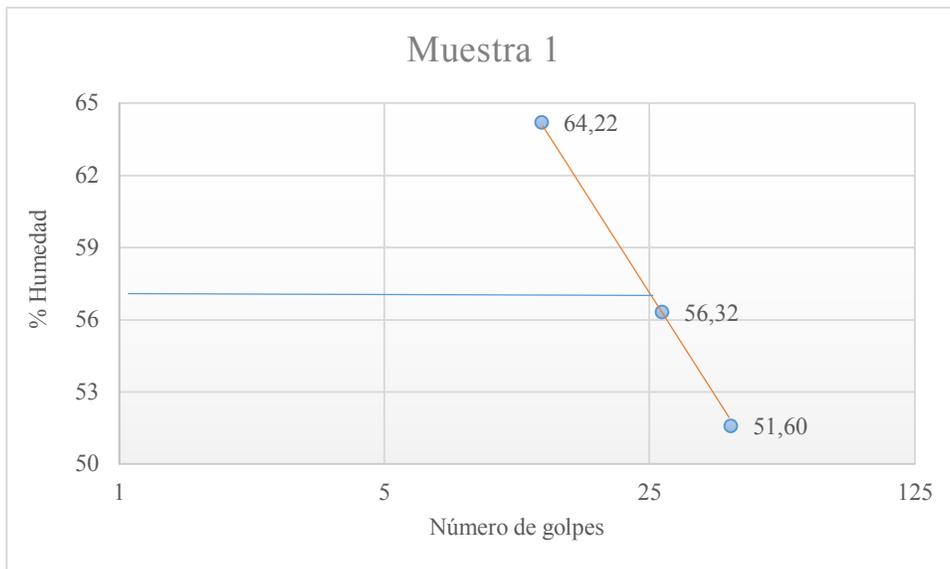


Figura N° 23. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 1.

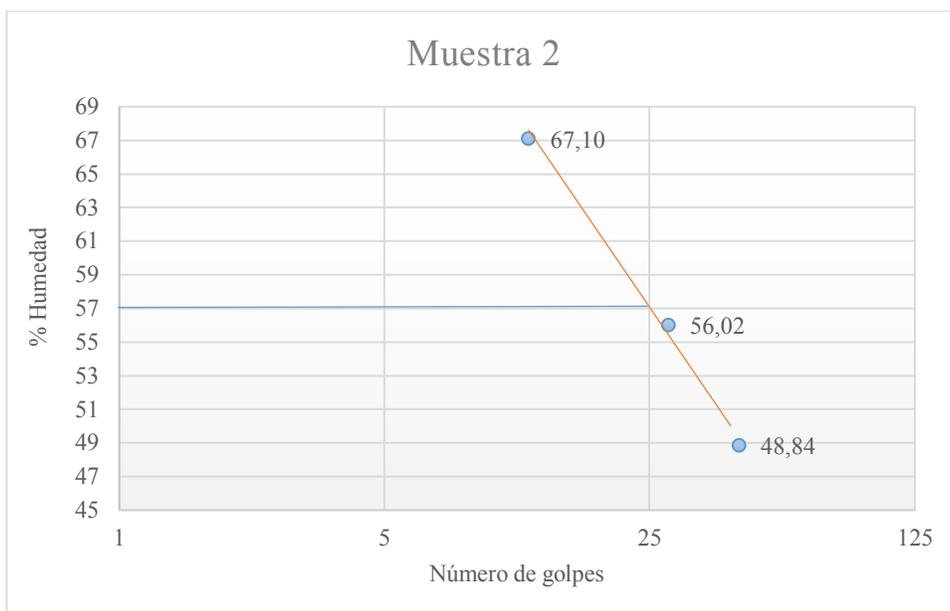


Figura N° 24. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 2.

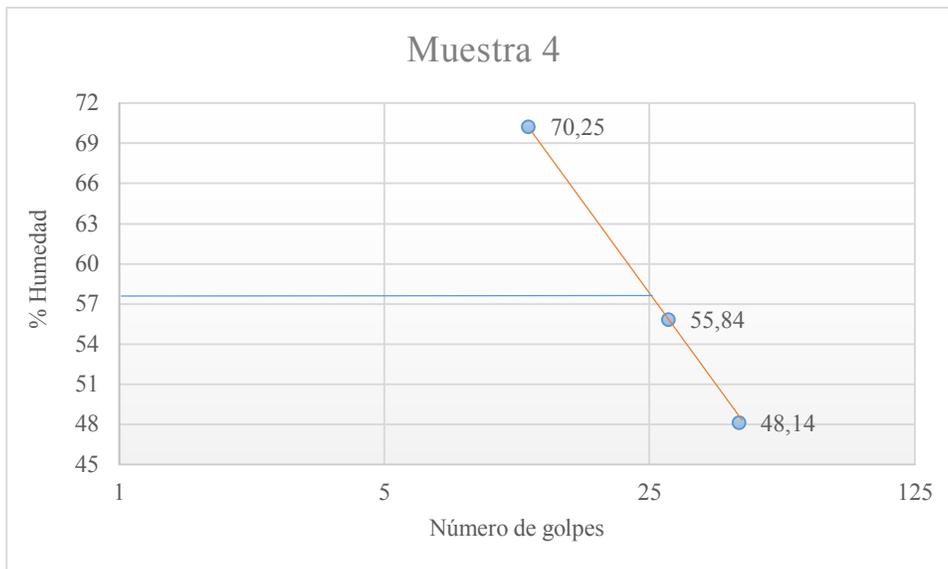


Figura N° 25. Porcentaje de humedad para 25 golpes de la muestra 4.

En la Figura N° 26 se observa el porcentaje de humedad de una materia prima que se utiliza en una alfarería, y la misma es manejada en la investigación con el propósito de establecer un punto de referencia comparativa en cuanto a plasticidad, ya que no se cuenta con datos de plasticidad utilizadas en las máquinas de extrusión de bloques estructurales.

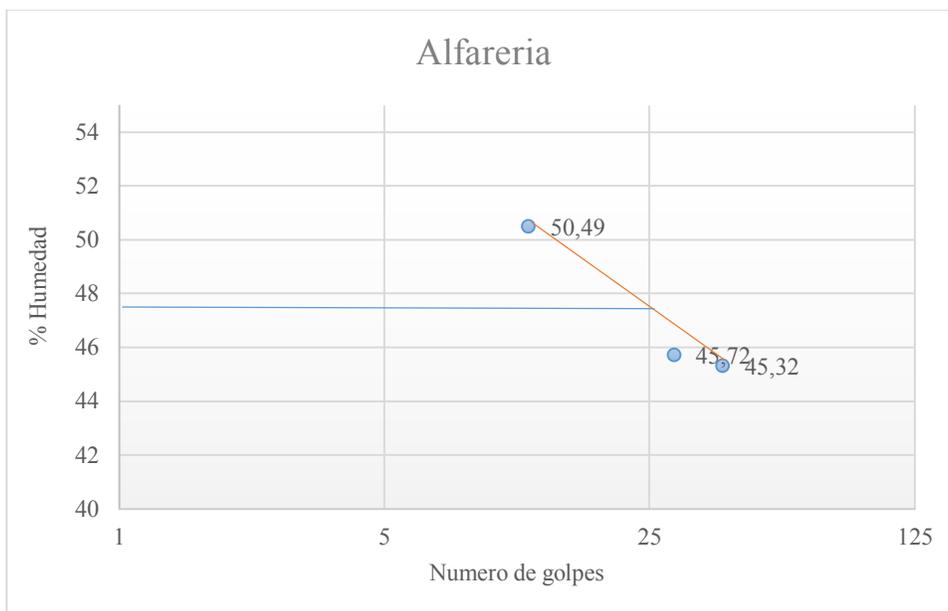


Figura N° 26. Porcentaje de humedad para 25 golpes de materia prima (Alfarería).

Los L.L. para las muestras 1, 2 y 4 fueron de 57,0; 56,5 y 57,5 % respectivamente y 47 % para la muestra proveniente de la alfarería.

Como resultado de los ensayos referidos en la Tabla N° 7 se promedian los porcentajes de humedad para cada muestra y se obtienen los **LP**.

Tabla N° 7. Pesos obtenidos para el cálculo del límite de plástico.

	<i>Tara</i>	<i>Peso tara (g)</i>	<i>Peso húmedo (g)</i>	<i>Peso seco (g)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>LP (%)</i>
<i>Muestra 1</i>	35	6,22	10,17	9,34	26,60	26,89
	23-65	12,78	16,29	15,54	27,17	
<i>Muestra 2</i>	25-76	8,65	12,45	11,76	22,19	21,98
	33B	9,94	12,96	12,42	21,77	
<i>Muestra 4</i>	88	14,48	20,43	19,30	23,53	22,79
	23A	11,23	15,88	15,04	22,04	
<i>Alfarería</i>	37	5,97	7,61	7,28	25,19	24,91
	17	8,39	10,06	9,73	24,63	

En la Tabla N° 8 se presentan los resultados del LL, LP e IP obteniendo la clasificación del material proveniente de La Laguna de Sedimentación con las siglas **CH** u **OH**. El material es de origen inorgánico por las evidencias expuestas, entonces es un **CH** según el S.U.C.S., y se concluye que es una arcilla con alta plasticidad como se muestra en la Figura N° 27.

Tabla N° 8. Porcentajes de LL, LP e IP de las muestras.

	<i>LL (%)</i>	<i>LP (%)</i>	<i>IP (%)</i>
<i>Muestra 1</i>	57	22,93	34,07
	57	21,07	35,93
<i>Muestra 2</i>	56,5	22,19	34,31
	56,5	21,77	34,73
<i>Muestra 3</i>	57,5	23,53	33,97
	57,5	22,04	35,46
<i>Alfarería</i>	47	25,19	21,81
	47	24,63	22,37

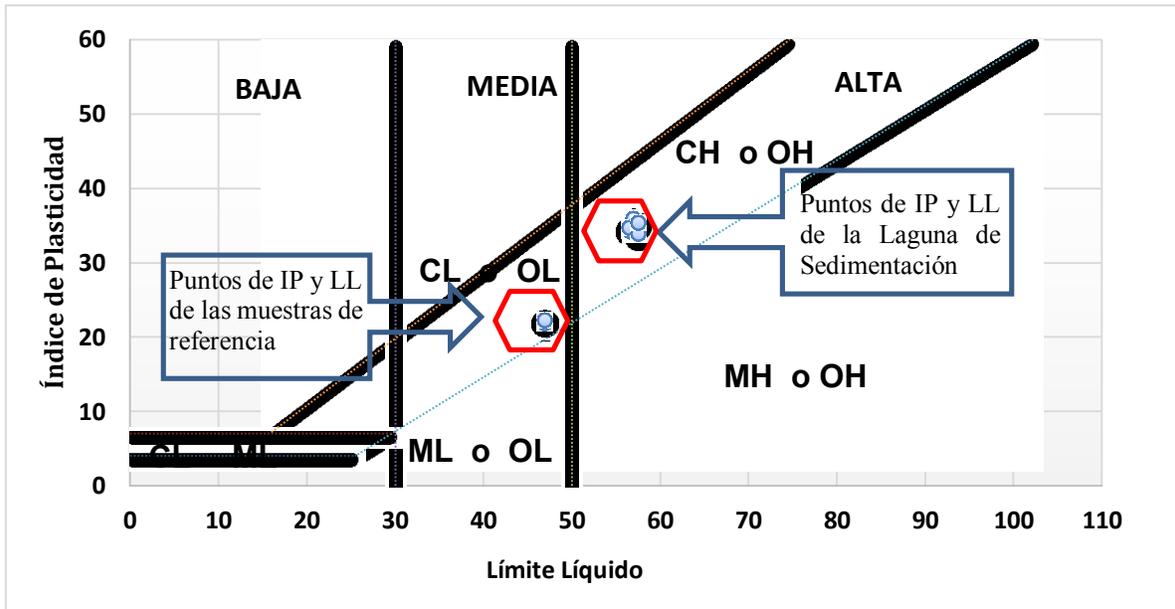


Figura N° 27. Carta de plasticidad.

#### 5.4 PODER DE ADSORCIÓN

En la Tabla N° 9 se ordenan los gramos de *kerosene* agregados a la muestra por cada pasada a través del tamiz #100 luego de homogenizar hasta llegar al punto de saturación.

Tabla N° 9. Cantidad de *kerosene* agregada a la muestra en gramos y mililitros.

<i>Arcilla</i> (g)	<i>Kerosene</i> (g)	<i>Kerosene</i> (ml)
50	10	12,4
	2,5	3,1
	2,5	3,1
	2,5	3,1
	2,5	3,1
	2,5	3,1
	2,5	3,1
	2,5	3,1
<i>Total</i>	27,5	34,1

Los pesos por gota de *kerosene* que se utilizan para determinar el peso por cantidad de gotas se observan en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10. Peso en gramos por cantidad de gotas de *kerosene*.

<i>Gotas</i>	<i>Gramos (g)</i>
10	0,2
20	0,4
40	0,78
60	1,16
80	1,56
100	1,97
102	2

La muestra alcanzó el punto de saturación con 27,5 g de *kerosene* lo que equivale al 35,48 % del peso total de la muestra. El resultado mencionado se considera bajo para ser empleado en alguna industria siendo el mínimo aceptable de 37,5 %.

## 5.5 PODER DE ABSORCIÓN.

En la Tabla N° 11 se muestra la cantidad del sedimento y gotas de aceite de linaza así como sus respectivos pesos.

Tabla N° 11. Cantidad en gotas de aceite de linaza y sus respectivos pesos.

<i>Arcilla</i> <i>Gramos</i> <i>(g)</i>	<i>Gotas</i>	<i>Peso</i> <i>Gramos</i> <i>(g)</i>
4	10	0,23
	20	0,48
	30	0,71
	50	1,24

Se agregaron 50 gotas de aceite de linaza, siendo 1,24 g en total con una absorción del 31 % del peso total de la muestra.

## 5.6 PODER DE DECOLORACIÓN.

En la Tabla N° 12 se encuentran los valores de concentración de azul de metileno conocidas con sus respectivos valores de absorbancia y transmitancia, medidos con una longitud de onda de 640 nanómetros.

Tabla N° 12 Valores de transmitancia y absorbancias para distintas concentraciones de azul de metileno (Patrones).

<i>Azul de metileno</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Transmitancia</i> <i>(%)</i>	<i>Absorbancia</i> <i>Nanómetros (nm)</i>
0,2	95	0,02
0,4	88	0,04
0,8	66	0,17
1,6	58	0,24
2,4	50	0,3
3,2	37	0,43
4,8	20	0,7
8	7	1,2
12	3	1,5
16	2	1,8
20	1	2

En la Tabla N° 13 se muestran los valores de transmitancia y absorbancia obtenidos a una longitud de onda de 640 nanómetros para distintas pesadas en muestra de arcilla en soluciones de 20 mg/l de azul de metileno.

Tabla N° 13. Valores de transmitancia y absorbancia en soluciones de concentración fija y diferentes cantidades de arcilla.

<i>Arcilla Gramos (g)</i>	<i>Dilución Mililitros (ml)</i>	<i>Arcilla (g/ml)</i>	<i>Azul de metileno (mg/l)</i>	<i>Transmitancia %</i>	<i>Absorbancia (nm)</i>
5	250	0,0200	20	96	0,018
2,5	250	0,0100	20	95	0,022
2	250	0,0080	20	95	0,022
1,5	250	0,0060	20	93	0,032
1	250	0,0040	20	90	0,046
0,8	250	0,0032	20	88	0,056
0,6	250	0,0024	20	83	0,081
0,4	250	0,0016	20	49	0,310
0,3	250	0,0012	20	18	0,745
0,2	250	0,0008	20	5	1,301

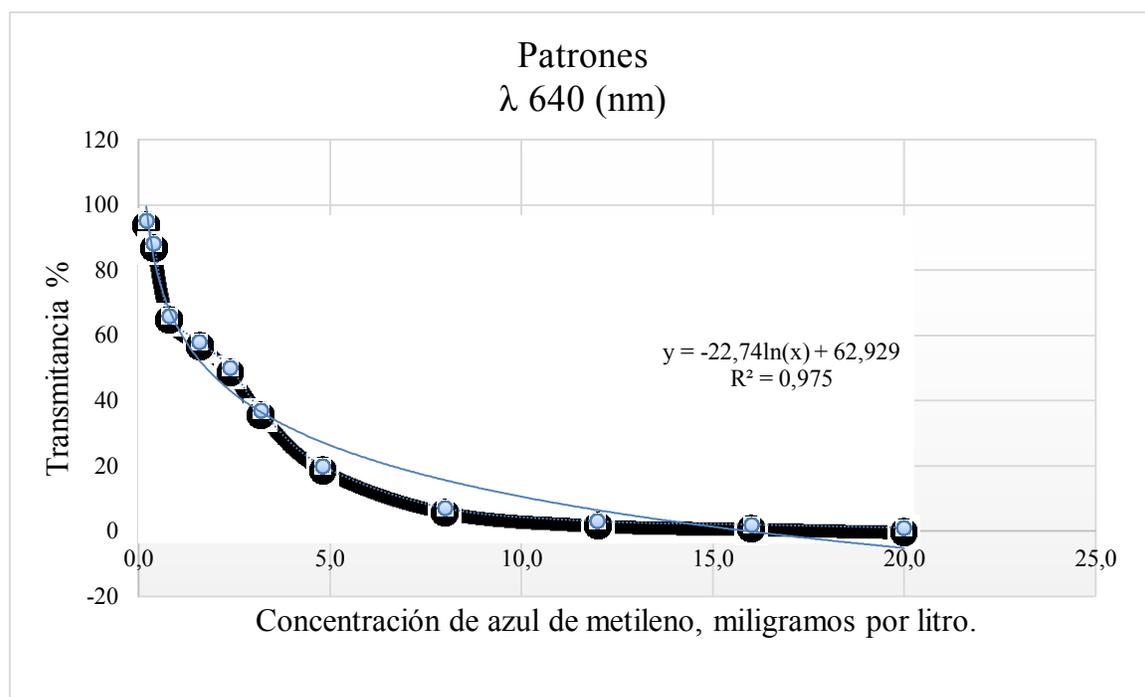


Figura N° 28. Transmitancia vs miligramos por litro de azul de metileno en los patrones.

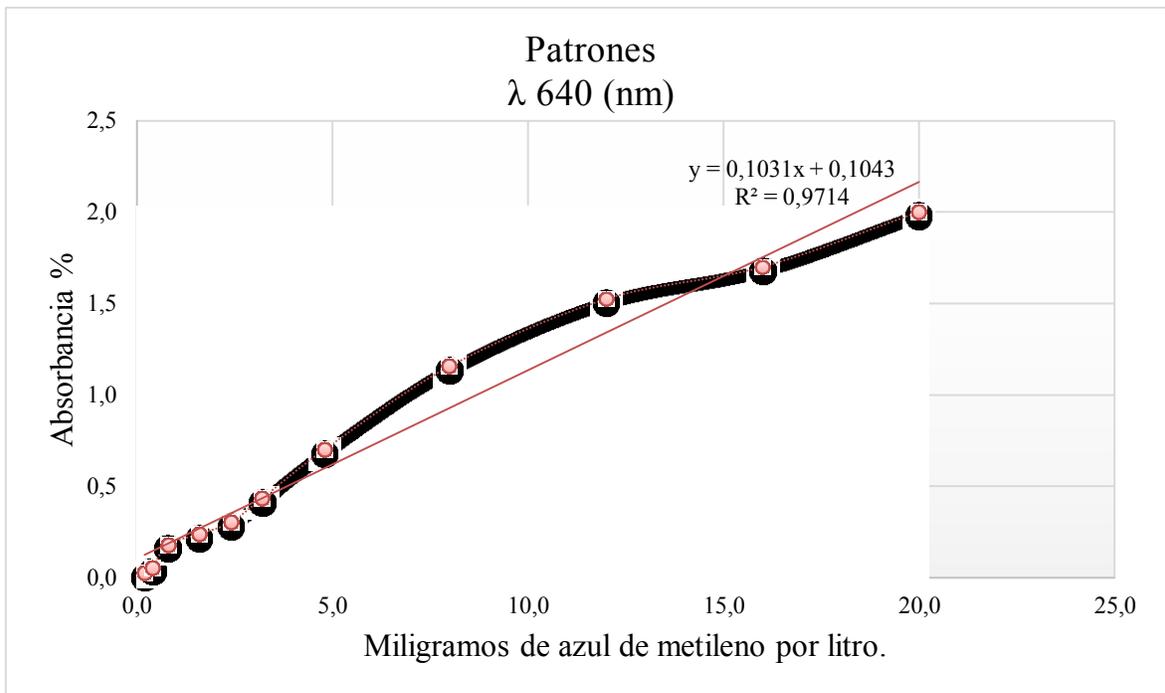


Figura N° 29. Absorbancia de concentración de miligramos por litro de azul de metileno en los patrones.

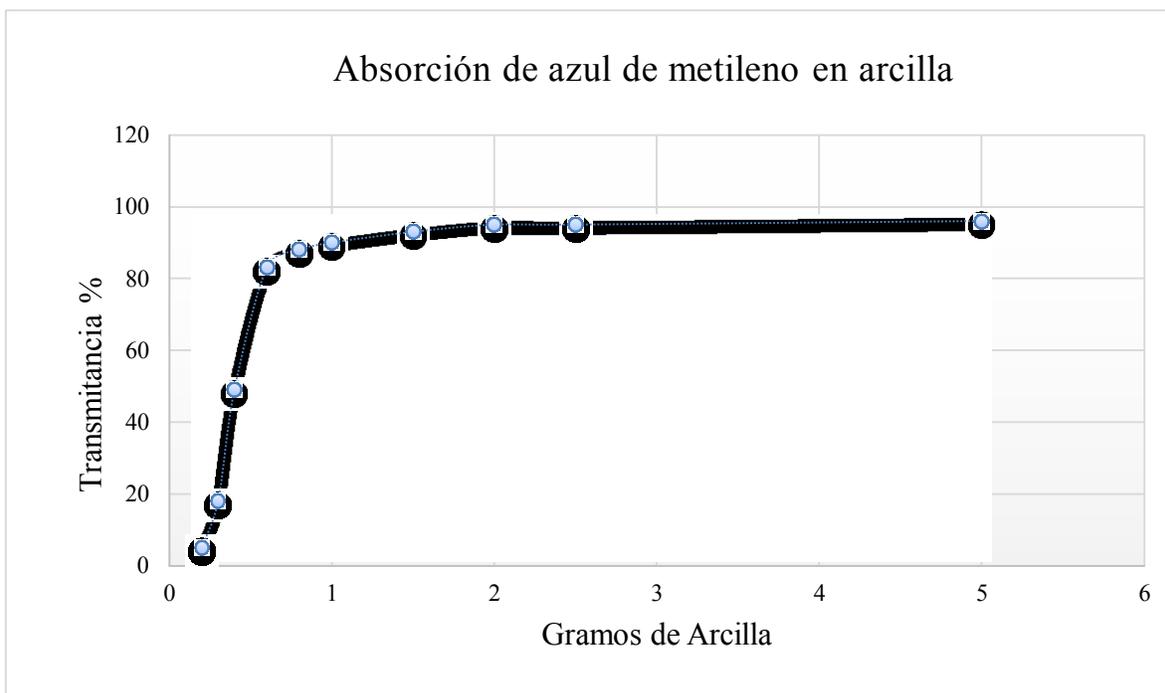


Figura N° 30. Transmitancia en las muestras.

De la Figura N° 28 y 29 se obtiene la Ecuación 23  $y = -22,74 \ln(x) + 62,929$  la cual se define como la línea de tendencia. Despejando el valor de (x) de esta ecuación obtenemos otra relación que se denominó Ecuación 24; sustituyendo los valores de transmitancia obtenidos de la Figura N° 30 en la ecuación anterior, se pueden determinar la concentración final de azul de metileno en la solución como se muestra en la Tabla N° 14.

$$y = -22,74 \ln(x) + 62,929 \quad (23)$$

Donde:

y = Transmitancia de los patrones.

x = Concentración de los patrones.

$$x = e^{\left(\frac{62,929 - y}{22,74}\right)} \quad (24)$$

Donde:

y = valores de transmitancia de los ensayos.

x = Concentración después del ensayo.

Tabla N° 14. Valores de metileno antes y después de agregar las muestras de arcilla.

<i>Arcilla.</i> (g/ml)	<i>Azul de metileno</i> (mg/l)	<i>Azul de metileno (x)</i> (mg/l)	<i>Azul de metileno absorbido</i> (mg/l)
0,02	20	0,23	19,77
0,01	20	0,24	19,76
0,008	20	0,24	19,76
0,006	20	0,27	19,73
0,004	20	0,30	19,70
0,0032	20	0,33	19,67
0,0024	20	0,41	19,59
0,0016	20	1,85	18,15
0,0012	20	7,21	12,79
0,0008	20	12,77	7,23

De los resultados obtenidos en la Tabla N° 15, de las 10 muestras en total 5 muestras obtuvieron un porcentaje mayor del 90 % de transmitancia con valores de 0,1 mg a un valor máximo de 0,49 mg de azul de metileno decolorado por cada 100 g de arcilla.

Tabla N° 15. Relación de material decolorado por cada 100 gramos de arcilla.

<i>Arcilla (g)</i>	<i>Azul de metileno absorbido (mg)</i>	<i>Transmitancia %</i>	<i>Miligramos absorbidos por cada 100 gramos de arcilla.</i>
5	19,77	96	0,10
2,5	19,76	95	0,20
2	19,76	95	0,25
1,5	19,73	93	0,33
1	19,70	90	0,49
0,8	19,67	88	0,61
0,6	19,59	83	0,82
0,4	18,15	49	1,13
0,3	12,79	18	1,07
0,2	7,23	5	0,90

Según García y Suarez (s.f.) la existencia de carga en las láminas se compensa, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico.

Las diferentes cargas de origen mineral varían según su naturaleza, por ejemplo, en los enlaces rotos de los bordes en los cristales, es la causa principal de la capacidad de cambio catiónico de las arcillas caoliniticas, mientras que las sustituciones en la estructura lo son en el caso de las esmectitas.

Los valores de esta propiedad se miden en miliequivalentes por 100 g de arcilla seca, y varían desde 3-15 para las caolinitas, de 10-40 para las ilitas y cloritas; y desde 80-150 para las esmectitas (ob,cit).

Como se puede observar de los valores obtenidos de 0,1 mg a un valor máximo de 0,49 mg de azul de metileno decolorado por cada 100 g de arcilla están muy por debajo de

los estándares tabulados. Hay que notar que la posible causa de estos bajos valores, pueden ser característicos de la caolinita.

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $m^2/g$  (ob,cit).

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad. Del mismo modo de los resultados anteriores el tamaño de grano disminuye la superficie específica de los sedimentos que es de  $100,319 m^2/g$ ; siendo la misma una propiedad importante en el empleo industrial disminuyendo la capacidad de absorción y adsorción.

## 5.7 FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Los datos de composición cualitativa obtenidos por el método de fluorescencia de Rayos X se encuentran tabulados en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16. Composición química de las muestras obtenidas a partir de FRX.

<i>Muestras</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>k<sub>2</sub>O</i>	<i>MgO</i>	<i>MnO</i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>
<i>M1</i>	50,9	25,7	0,249	6,57	2,9	1	0,029	0,991
<i>M2</i>	51,1	35,3	0,260	9,07	2,8	< 1	0,039	0,779
<i>M3</i>	55,8	29,7	0,248	7,55	2,2	< 1	0,040	1,15
<i>M4</i>	52,9	32,4	0,249	8,86	2,4	< 1	0,039	0,919
<sup>11</sup> <i>M5-2</i>	57,4	15,8	3,88	9,40	1,4	< 1	0,125	0,983

Se puede observar en los resultados M1, M2, M3 y M4 que la sílice varía entre 50 y 55 %, óxido de aluminio de 25 a 35 %; y óxido de hierro entre 6 y 9 %. Si se consideran

<sup>10</sup> El valor de superficie específica es tomado de un ensayo realizado a la muestra en el CAIC con la colaboración del Ing. Jesús Batista (Dpto. Tecnología de los materiales).

<sup>11</sup> La muestra M5-2 es materia prima en la fabricación de bloques, es utilizada como punto de referencia y proviene de una alfarería ubicada en la zona de Caracas.

como referencia los resultados de M5-2 estos sedimentos presentan contenidos de sílice, alúmina y óxido de hierro adecuados para ser empleadas como materia prima para alfarería común.

Según Herraiz (1985) los valores de composición química para la industria de la alfarería están comprendidos entre los límites que se muestran en la Tabla N° 17. Sin embargo, Robuste (s.f.) indica que todas aquellas arcillas que no contengan cal ni yeso son perfectamente utilizables en la fabricación de productos de alfarería en tanto sean plásticas o grasas en una medida tratable.

Tabla N° 17. Límites de composición química para la materia prima en la industria de la alfarería.

<i>Componentes</i>	<i>Porcentajes (%)</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>65 - 83</i>
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>9 - 21</i>
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>3 - 6,1</i>
<i>TiO</i>	<i>1</i>
<i>CaO</i>	<i>0,5 - 2</i>
<i>MgO</i>	<i>0,9 - 1,8</i>
<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>1 - 3</i>
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>0,2 - 2</i>
<i>Pérdida al fuego</i>	<i>3 - 4</i>

Según la Norma UNE 61-001-75 se clasifica los materiales refractarios por su composición química en seis grupos, de esos grupos dos se muestran a continuación:

- Refractarios silíco-aluminosos (Si presentan contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comprendidos entre el 10 y el 30 %, siendo el resto fundamentalmente SiO<sub>2</sub>).
- Refractarios aluminosos (si presentan contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comprendidos entre el 30 y el 45 %, siendo el resto fundamentalmente SiO<sub>2</sub>).

Las materias primas utilizadas para su fabricación son las denominadas arcillas refractarias y los caolines.

Como se puede inferir los sedimentos poseen composición química adecuada para su uso como material refractario, hasta un rango de 1450 °C, sin embargo, el hierro es un fundente el cual por métodos de beneficio mineral se podría extraer.

## 5.8 COLOR NATURAL Y COLOR CALCINADO.

En la Tabla N° 18 se muestran los códigos de los colores observados en las muestras *in situ* así como también después de calcinar a 900 y 1200 °C.

Tabla N° 18. Códigos de colores observados en las muestras después de calcinar.

<i>Muestras</i>	<i>Color Natural</i>	<i>900 °C</i>	<i>1200 °C</i>
<sup>12</sup> 1	8,6 - 7.5YR	7,6 - 2.5 YR	6.8 - 25YR
2	8,6 - 7.5YR	7,6 - 2.5 YR	6.6 - 10R
3	8,6 - 7.5YR	7,6 - 2.5 YR	7.4 - 75YR
4	8,6 - 7.5YR	7,6 - 2.5 YR	6.6 - 10R
<sup>13</sup> M5-2	6,4 - 2.5Y	6,8 - 7.5YR	4.4 - 7.5YR

Las muestras tomaron un color naranja pálido a 900 °C y a los 1200 °C se tornaron rojizas a marrón, esto se explica por la composición química contenida en los sedimentos según los estudios de FRX. La formación de cristales de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a 700 °C explica el color rojo y a temperaturas más elevadas se da la pérdida de la coloración por la transformación en FeO. En otras palabras hasta los 700 °C el contenido de FeO disminuye, aumentando el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la descomposición del FeO y la de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a temperaturas más elevadas, da lugar a la desaparición de la coloración rojiza.

Los cambios de color en las arcillas cocidas, indican destrucción o formación de nuevos minerales.

En las arcillas cocidas el hierro es el principal agente de pigmentación, por ello las arcillas que contienen 5 % o más de óxido de hierro son ideales para la industria de la alfarería.

<sup>12</sup> La muestra uno presentó un alto brillo micáceo en la superficie posiblemente por presencia de moscovita o illita.

<sup>13</sup> La muestra M5-2 es materia prima en la fabricación de bloques, es utilizada como punto de referencia y proviene de una alfarería ubicada en la zona de Caracas.

## 5.9 CONTRACCION A 105 °C Y A CALCINACIÓN.

La contracción se determina mediante una probeta realizada bajo la norma ASTM C-326, que se emplea para determinar el porcentaje de encogimiento por pérdida del agua en el material arcilloso después de someterse a calentado para la sinterización.

Como se puede notar en la

Tabla N° 19 aparecen los porcentajes de contracción.

Tabla N° 19. Datos de Contracción por Cocción.

<i>Muestra</i>	<i>Medida natural (cm)</i>	<i>Medida 105 °C (cm)</i>	<i>Medida 1200 °C (cm)</i>	<i>Contracción 105 °C (cm)</i>	<i>Contracción 1200 °C (cm)</i>	<i>Contracción 105 °C (%)</i>	<i>Contracción 1200 °C (%)</i>
1	10	9,45	8,874	0,55	1,126	5,5	11,26
2	10	9,30	8,640	0,70	1,360	7,0	13,60
3	10	9,50	8,680	0,50	1,320	5,0	13,20
4	10	9,40	8,915	0,60	1,085	6,0	10,85
5	10	9,20	8,490	0,80	1,510	8,0	15,10
6	10	9,30	8,840	0,70	1,160	7,0	11,60

*Sensibilidad ± 0,05 mm*

El comportamiento de las arcillas durante el proceso de cocción puede ser evaluado a partir de diferentes ensayos, de los cuales el más sencillo y de uso general es la determinación de la porosidad abierta como una medida del desarrollo de fases vitreas, con la consiguiente reducción del número y tamaño de poros. Bartolomé (1997) menciona que este parámetro está claramente relacionado con la cantidad de fundente presente en la composición del caolín, y con el grado de finura de las partículas sobre las que actúa la sílice. (Cuanto más fina es la granulometría, menor porosidad permanece después de la vitrificación).

## 5.10 ABSORCIÓN DE AGUA

En la Tabla N° 20 se compilan los datos obtenidos de los ensayos de absorción de agua a muestras con diferentes rangos de temperatura de cocción.

Tabla N° 20. Pesos de las probetas y sus porcentajes de absorción de humedad.

	Probeta	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Absorción (%)	
550 °C	13	31,68	45,13	42,46	
	15	32,45	46,5	43,30	X= 42,67
	17	35,43	50,38	42,20	S= 0,47
	14	33,72	48,13	42,73	CV= 1,11 %
1200 °C	1	40,01	50,24	25,57	
	3	39,87	50,02	25,46	
	4	39,27	49,33	25,62	X= 25,58
	5	39,77	49,92	25,52	S= 0,11
	6	39,79	50,04	25,76	CV= 0,45 %
900 °C	34	33,3	41,85	25,68	
	31	34,12	42,72	25,21	
	29	33,42	41,81	25,10	X= 25,51
	32	33,31	42,02	26,15	S= 0,42
	26	33,36	41,84	25,42	CV= 1,64 %

Los valores de X, S y CV corresponden a los promedios de los porcentajes de humedad, desviación estándar absoluta y coeficiente de varianza en porcentaje.

Se observa en la Tabla N° 20 que los valores de humedad absorbida son altos en correspondencia a los valores promedios según Sacmi (2004), los caolines se caracterizan por absorción de agua a 1100 °C entre 20 y 25 %; así mismo el módulo de rotura a la flexión es (80 – 150 Kg/cm<sup>2</sup>) siendo el más bajo entre los materiales cerámicos.

Las normas covenin 4-82 y 2-78 establecen que la absorción por agua no debe ser mayor al 25 % para bloques de uso estructural. Por lo tanto el material en su forma original no es recomendable en el uso de materia prima para la fabricación de bloques estructurales.

## 5.11 PESO ESPECÍFICO

En la Tabla N° 21 se muestran los datos obtenidos a partir del picnómetro, necesarios para calcular el peso específico del material.

Tabla N° 21. Valores de medición de los diferentes pesos requeridos en el cálculo del peso específico.

Picnómetro + suelo + agua ( $W_1$ ) en g	Suelo seco ( $W_s$ ) en g	$T$ °C	Picnómetro N° 592		
			$W_2$ en g	$T$ °C	
163,428	25,000	27,8	$y = 148,08978$	27,8	
163,424	25,000		<sup>14</sup> $y = 0,0349 * (T \text{ °C}) + 149,06$		
163,425	25,000				
163,423	25,000				
163,425	25,000	Promedio			
	$W_s$ en g	$W_s$ en g	$W_2$ en g	$W_1$ en g	<sup>15</sup> Gwt
	25,000	25,000	148,090	163,425	0,998

El valor del peso específico calculado es de 2,581.

## 5.12 CALCULO DEL VOLUMEN EN LA LAGUNA.

Para la determinación del volumen del material depositado en la Laguna de Sedimentación, objeto de este estudio, se comenzó tomando las coordenadas U.T.M. en cuatro puntos accesibles sobre el área, los cuales se compilan en la Tabla N° 22. Se dibuja una poligonal con el programa en línea *Fremaptools* como se muestra en la Figura N° 31, para luego modelar las curvas de nivel en Auto CAD (licencia estudiantil). Con estos pasos se determinaron: diferencia de cotas y realización del cálculo de volumen como se observa en la Figura N° 32.

<sup>14</sup> El peso del picnómetro más agua calibrado a la temperatura de 27,8°C es calculado con la ecuación de la recta tomada de la Figura N° 13.

<sup>15</sup> El valor del peso específico del agua (Gwt) a una temperatura de 28°C es tomado de la tabla IV-1 de Celso y Ugas (1985)

Tabla N° 22. Coordenadas U.T.M. de los puntos alrededor de la laguna.

<i>Punto</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>m.s.n.m.</i>
1	593258	1112325	497
2	593236	1112031	490
3	593135	1112166	491
4	593353	1112159	494

*Huso 19, Hemisferio Norte*

La diferencia de cotas encontradas desde el año 94 a la actualidad es de 10 m en lo más alto y 17 m en lo más bajo desde la superficie de la laguna, resultando un volumen aproximado de 439.052,73m<sup>3</sup>.



Figura N° 31. Ubicación de los puntos de la poligonal sobre la laguna. Fuente:<sup>16</sup>.

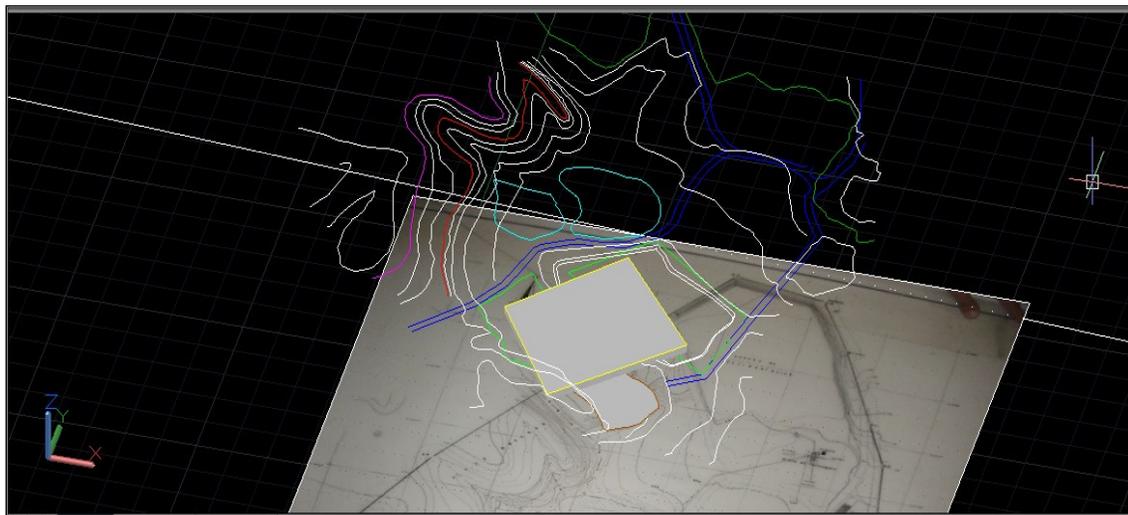


Figura N° 32. Modelaje de curvas de nivel. Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista mineralógico las arcillas engloban a un grupo (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada, se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y propiedades, con distintas aplicaciones tecnológicas.

---

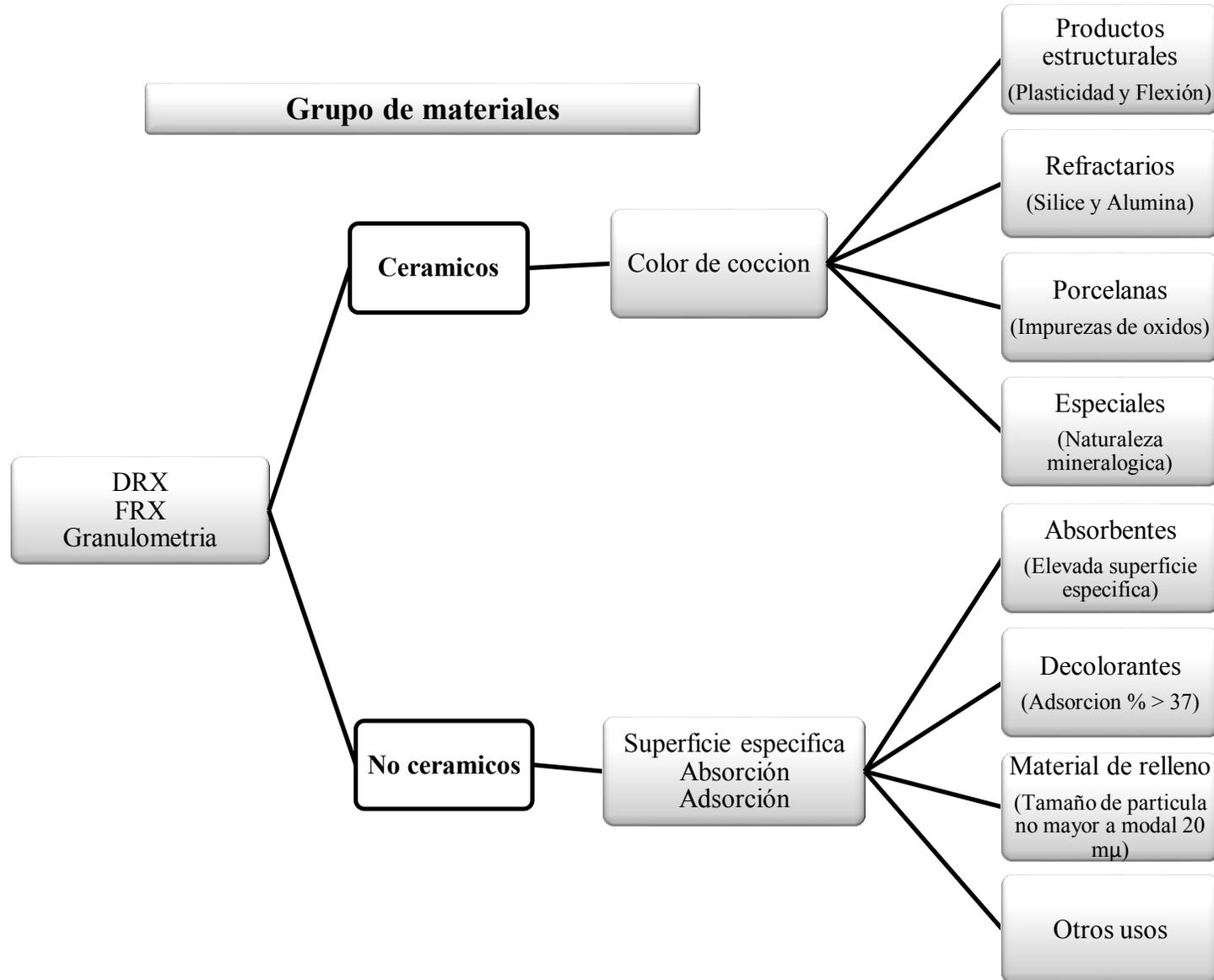
<sup>16</sup> Freemaptools. (2014). Free map tools. Recuperado el 20 de 04 de 2014, de <http://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$ .

Dado que el material depositado contiene caolinita vale la pena mencionar que según Bartolome (1997) en algunas partes del mundo el caolín es extraído a partir de arenas que tienen un contenido de caolinita menor del 20 % y estos residuos pueden ser usados en la industria y en la construcción

Yupari, A. (s.f.) La denominación de pasivos ambientales mineros hace referencia a los impactos negativos generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables, y en donde no se haya realizado un cierre de minas regulado y certificado por la autoridad correspondiente. La referencia es extensiva a aquellos impactos que pueden causar los residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) generados en el curso de las diferentes fases del proceso minero, y que han sido depositados en presas de escombreras u otra forma de almacenamiento, sin un manejo ambientalmente apropiado.

## Marcha analítica para determinar posible uso del material de estudio



## CONCLUSIONES

La presente investigación se realizó con el fin de obtener un posible uso industrial para el material residual, proveniente del proceso de lavado de La Arenera y Pedrera Tauro S.A., con esa finalidad se persigue un doble propósito de: aumentar el beneficio económico a este pasivo minero ambiental y disminuir el impacto ambiental causado por la acumulación de los sedimentos, que tiene una amplia extensión y va en crecimiento por la explotación constante de los depósitos de arena de la cantera, debido a su gran demanda en obras de construcción e infraestructura.

Con el objeto de identificar propiedades y variables necesarias para la identificación de este material en posible uso industrial, se realizaron un estudio a La Laguna de Sedimentación, así como, una serie de ensayos de laboratorio obteniendo las siguientes conclusiones:

En la mineralogía detectada por el método de difracción de rayos X se encontró un conjunto de minerales pertenecientes al grupo de las arcillas siendo la caolinita e illita, así mismo cuarzo y moscovita.

En un esfuerzo por ubicar el material en una categoría de tamaño de partícula, se utilizó el Sistema Unificado de clasificación de Suelos: resultando un suelo Arcilloso de Alta plasticidad ubicado en la carta de Casagrande con las siglas **CH**.

Los ensayos de absorción (Aceite de linaza) y adsorción (*Kerosene*) arrojaron valores bajos de 31 y 35,8 % respectivamente, causados posiblemente por el tamaño de partícula, el cual tiene como valor de superficie específica 0,319 m<sup>2</sup>/g. El ensayo resultó con un bajo poder de decoloración por la misma razón antes expuesta.

La composición química obtenida por el método de FRX resultó idónea para la industria alfarera y de refractarios. Con una composición de sílice y óxido de aluminio en su mayor porcentaje, óxido de calcio menor al 1 % y un rango medio de 6 y 9 % de óxido de hierro.

El color obtenido en la cocción es ideal para la industria alfarera motivado por los rangos de óxidos de hierro; pero, el material no tiene el tamaño adecuado para ser una arcilla, causando un problema en la sinterización y una alta absorción de agua lo que permite una gran porosidad, alta contracción a la cocción y una baja resistencia a la flexión. Sin embargo, este material es idóneo para ser utilizado como desgrasante, dado que podría disminuir la plasticidad en las materias primas.

En virtud de la Ley de Minas, Ley Orgánica del Ambiente y el Segundo Plan de La Patria 2013-2019, la presente investigación ha resultado provechosa, ya que reconoce la necesidad de realizar otras investigaciones en consecuencia de los resultados obtenidos y en los ensayos de estos sedimentos. Puesto que el material es potencialmente aprovechable en la industria y nos indica que posiblemente en la ocurrencia geológica de este material se encuentren capas arcillosas de potencial caolinita, material que es solicitado por importantes empresas para la manufactura de materiales cerámicos y no cerámicos, que son de gran demanda nacional y con posibilidad de sustituir la importación de esta materia prima, toda vez que se convierte un pasivo minero ambiental en un material con valor agregado.

La minería es una actividad económica que se desarrolla desde siglos atrás explotando diversos recursos que ineludiblemente generan residuos. Las viejas prácticas mineras y el manejo inadecuado de estos residuos, como también la inexistencia de normas precisas que regulen el cierre de minas, han devenido en la acumulación de pasivos ambientales mineros a lo largo de extensas áreas y provocado contaminación de recursos naturales cuyo uso puede poner en riesgo la salud pública y el ambiente.

## RECOMENDACIONES

El volumen de material en la Laguna de Sedimentación es de 439.052,73 m<sup>3</sup>, un valor de importancia considerable; por lo que se recomienda hacer estudios de Absorción Atómica y Análisis Térmico Diferencial, así como, identificar la cantidad de caolinita en porcentaje total del material. Con esto se puede realizar un posible estudio de factibilidad para introducir el material en el mercado de la cerámica, dado que el costo actual está entre 300 y 600 US\$ por tonelada de caolinita. Se recomienda además, el empleo de algunos métodos de beneficio mineral físicos o químicos, que permitan la concentración de la caolinita para que sea aprovechable en la industria de la cerámica.

Se recomienda hacer un estudio de impacto ambiental causado por el desagüe de La Laguna de Sedimentación ya que el mismo va directo al río Chirgua y en los resultados de pH se detectó un valor ácido de 5,75 siendo el valor por naturaleza de un río alrededor de 7.

## REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. (1970). 1970 Annual book astm Standars. Estom.Md.U.S.A.: Astm.
- Bartolomé, J. F. (Enero-Febrero de 1997). El caolin: composición, estructura, genesis y aplicaciones. Boletin de la sociedad española de ceramica y vidrio, págs. (4-12).
- Brown, T., Lemay, H., & Bursten, B. (1993). Quimica la Ciencia Central. Mexico: Prentince Hall.
- Castro, S., & Rivero, L. (2010). Caracterizacion Geologica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda el Marques, Municipio Zamora, Guatire, Estado Miranda. Caracas: Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Celso, T., & Ugas, F. (1985). Ensayos de Laboratorio en Mecanica de Suelos Discusión, Evaluación y Procedimientos (Tercera edición ed.). Caracas, Venezuela.
- Chavez Frias, H. R. (2013). Plan de la Patria. Caracas: Inedito.
- Garcia, E., & Suarez, M. (s.f.). Las Arcillas Propiedades y Usos. Madrid, Salamanca.
- Gueto Morales, J. (2012). Tecnologia de Los Materiales Ceramicos. Madrid: Diaz Santos.
- Herraiz, L. (1985). Materias Primas Tradicionales en la Alfarería Popular Coquense. Sevilla España: Universidad de Sevilla.
- Instituto Venezolano de Investigaciones tecnologicas e Industriales. (1962). Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 1) "Bases Tecnicas". Caracas: INVESTI.
- Instituto Venezolano de Investigaciones tecnologicas e Industriales. (1963). Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 2) "Arcillas de Guayana". Caracas: INVESTI.
- Instituto Venezolano de Investigaciones tecnologicas e Industriales. (1966). Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 3) "Arcillas de Venezuela". Caracas: INVESTI.
- Juarez, B., & Rico, R. (2000). Mecanica de Suelos. Limusa Noriega Editores.
- Lopez, V., Ascanio, G., & Guerrero, V. (2003). Rocas industriales de Venezuela. Aragua: Fundacite.

- P.D.V.S.A. (1997). <http://www.pdvsa.com>. Recuperado el 27 de 10 de 2014, de <http://www.pdvsa.com/lexico/178w.htm#>
- Parsons, C. L. (1913). Fuller's Eart. Washington: Government Printing Office.
- Saavedra, D., & Jadira, B. (2011). Actualizacion Estudio Tecnico Ambiental Periodico 2011-2014. Valencia: Arenera & Pedrera Tauro, S.A.
- Saavedra, D., & Jadira, B. (2011). Plan de Recuperación Ambiental Periodo 2012-2014. Valencia: Arpeta.
- Saavedra, D., & Jadira, B. (2012). Plan Minero de Explotacion 2012-2017. Valencia: Arpeta.
- SACMI. (2004). Tecnologia Ceramica Aplicada. Castellón de la Plana: Iberica.
- Villalaz Crespo, C. (2007). Mecanica de Suelos y Cimentaciones (6 ed.). Mexico, MEXICO: Limusa.
- Yupari, A. (s.f.). Pasivos Ambientales Mineros en Sudamerica. Inedito.