



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“Estabilización de Adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, para la construcción de viviendas en el municipio San Isidro, Sebaco y Matagalpa.”

Para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Elaborado por:

Br. José Freddy Moreira Portillo

Tutor

Ing. Luis Gustavo Espinoza

Managua, Nicaragua

2017.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por darme toda la capacidad y entendimiento, permitiéndome poder culminar exitosamente la presente monografía y la carrera como Ingeniero Civil, y por todas las bendiciones que me ha derramado en la vida.

Le doy las gracias a mis padres, quienes me han apoyado incondicionalmente en todo cuanto he requerido para mi formación profesional y el desarrollo de esta valiosa investigación.

A mi tutor Ingeniero Luis Gustavo Espinoza, quien me oriento con su conocimiento y amplia experiencia.

Al Ingeniero Oscar Gutiérrez, Decano de la Facultad de Tecnología de la Construcción, por su accesibilidad al haberme prestado el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería y por facilitar algunos medios para la elaboración del estudio monográfico.

Al ingeniero Johnny Robles, por haberme apoyado valiosamente en el desarrollo de la investigación con sus conocimientos y experiencia.

A las personas que estuvieron conmigo en los momentos difíciles de mi vida a Sra. María Auxiliadora Artola y su hijo Eric Morales, a mis excompañeros de clases de la carrera, al Sr. Terencio Rodríguez por estar dándome ánimos, al Sr. Don Víctor Rodríguez (Q.E.P.D), al profesor Marvin Blanco por prestarme todas las herramientas del laboratorio de mecánica de suelos.

A la Dirección de Atención Estudiantil, por su apoyo financiero en la ejecución de la monografía.

Ing. José Freddy Moreira Portillo.

DEDICATORIA

Dedico esta Monografía:

A mi **Padre Celestial y Jesucristo**, el dador de la vida, por ayudarme en el transcurso de mi vida, por sobre todas las cosas por derramar bendiciones y darme sabiduría por estar a mi lado siempre y en todo momento.

A mis padres **Sr. Freddy Moreira y Sra. Marlene Portillo** y mi querida abuelita **Sra. Emma Portillo Olmedo**, quienes me han formado, apoyado y aconsejado durante toda mi vida hasta llegar a culminar mis estudios profesionales. Gracias por sus sacrificios y confianza en mí.

A mis hermanas y hermano, Erica Moreira Portillo, Adriana Moreira Portillo, Daniela Moreira Portillo y Freddy Moreira Portillo, y a mi sobrina María Fernanda Pérez Moreira por darme el cariño y fortaleza de seguir luchando todos los días hasta alcanzar mis metas propuestas.

José Freddy Moreira Portillo.

INDICE

Temario	Páginas
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 ANTECEDENTES.....	7
1.3.1 Las arcillas en Nicaragua.....	7
1.4 JUSTIFICACION.....	9
CAPITULO II BASES TEORICAS.....	10
2.1 GENERALIDADES.....	11
2.2 ESTUDIOS.....	16
2.2.1 Alternativa de solución.....	17
2.3 ARCILLA.....	17
2.4 ORIGEN Y LOCALIZACION DE LA ARCILLA.....	22
2.5 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.....	23
2.5.1 Plasticidad.....	23
2.5.2 Resistencia.....	26
2.5.3 Limite de Contracción.....	26
2.5.4 Permeabilidad.....	28

2.5.5 Trabajabilidad.....	28
2.5.6 Higiene.....	28
2.5.7 Economía.....	29
2.5.8 Estática.....	29
2.5.9 Aspecto.....	29
2.5.10 Durabilidad.....	29
2.5.11 Intumescencia.....	30
2.6 ESTABILIZACION.....	31
2.7 ESTABILIZACION DE LOS SUELOS.....	32
2.7.1 Concepto.....	32
2.8 ESTABILIZACION FISICA.....	32
2.8.1 Mejoramiento físico.....	32
2.8.1.1 Mezclas de suelos.....	32
2.9 ESTABILIZACION QUIMICA.....	33
2.9.1 Mejoramiento químico.....	33
2.9.1.1 Cal.....	33
2.9.1.2 Cemento.....	33
2.9.1.3 Productos Asfálticos.....	33
2.9.1.4 Cloruro de Sodio.....	33
2.9.1.5 Cloruro de Calcio.....	33
2.9.1.6 Escorias de Fundición.....	34
2.9.1.7 Polímeros.....	34
2.9.1.8 Hule de Neumático.....	34

2.10 ESTABILIZACION MECANICA.....	34
2.10.1 Mejoramiento Mecánico.....	34
2.10.1.1 Compactacion.....	34
2.11 OBTENCION DE MUESTRAS DE ARCILLA.....	35
2.11.1 Equipos.....	35
2.11.2 Procedimiento de campo.....	36
2.11.3 Preparación de la muestra seca para realización de ensayos de laboratorio.....	37
2.11.3.1 Procedimientos realizados de laboratorio.....	37
2.11.3.2 equipos.....	37
2.11.4 Ubicación de sitio de extracción de las muestras de estudios....	40
2.11.5 Ubicación de San Isidro, Sebaco. Matagalpa.....	41
2.11.6 Bancos de Arcillas.....	42
CAPITULO III. ESTUDIO GRANULOMETRICO.....	43
3.1 GENERALIDADES.....	44
3.2 SUELOS GRANULARES.....	46
3.3 SUELOS FINOS.....	47
3.4 ANALISIS GRANULOMETRICO.....	48
3.4.1 Método por tamizado.....	48
3.4.2 Tamaño de las aberturas de los tamices normalizados.....	49
3.5 HIDROMETRIA.....	51
3.6 PROCEDIMIENTO DE CAMPO Y LABORATORIO.....	53

3.7 ANALISIS GRANULOMETRICO (Método de Tamizado).....	53
3.7.1 Equipo.....	53
3.7.2 Procedimiento del estudio granulométrico de la arcilla.....	54
3.8 PROCEDIMIENTO DE CALCULO.....	57
3.8.1 Método por tamizado.....	57
3.9 ANALISIS DE INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	58
3.10 GRANULOMETRIA DE LA ARCILLA.....	59
3.10.1 Interpretación de Resultados.....	59
3.10.2 Conclusión.....	61
3.11 GRANULOMETRIA DE LA ARENA.....	62
3.11.1 Interpretación de resultados.....	62
3.11.2 Conclusión.....	64
3.12 GRANULOMETRIA DE LA ARCILLA Y ARENA.....	65
3.12.1 Interpretación de resultados.....	65

CAPITULO IV. CONTENIDO DE HUMEDAD POR MEDIO DEL METODO

PROCTOR ESTANDAR.....68

4.1 INTRODUCCION.....	69
4.2 GENERALIDADES.....	71
4.3 EQUIPOS PARA PRUEBAS DE COMPACTACION.....	72
4.3.1 Proctor Estándar.....	72
4.3.2 Especificaciones para el ensaye.....	73
4.3.3 Procedimientos.....	74

4.3.4 Cálculos.....	79
4.3.5 Contenido de agua, muestra compactada.....	81
4.3.6 Compactación de la Muestra.....	82
4.3.7 Grafico Peso volumétrico vrs Humedad.....	83
CAPITULO V. ENSAYES DE LIMITES DE CONSISTENCIA (LL; Lp).....	84
5.1 GENERALIDADES.....	85
5.2 LIMITES ATTERBERG O LIMITE DE CONSISTENCIA.....	87
5.2.1 Limite Líquido.....	87
5.2.2 Limite Plástico.....	87
5.2.3 Limite de Retracción o Contracción.....	88
5.3 LIMITES DE CONTRACCION.....	88
5.4 FUNDAMENTO TEORICO.....	91
5.4.1 Limite de Cohesión.....	91
5.4.2 Limite de Pogosidad.....	92
5.4.3 Limite de Contracción.....	92
5.4.4 Limite Plástico.....	92
5.4.5 Limite Líquido.....	92
5.4.6 Limite de Saturación.....	92

CAPITULO VI. DETERMINACION ACTUAL DEL LIMITE LÍQUIDO.....	93
6.1 METODO CASAGRANDE.....	94
6.2 DETERMINACION DE LIMITE LÍQUIDO.....	95
6.2.1 Propiedades de los minerales de la arcilla.....	95
6.3 DETERMINACION DE LIMITES DE LA ARCILLA.....	98
6.3.1 Introducción.....	99
6.3.2 Generalidades.....	101
6.3.3 Equipos.....	101
6.4 DETERMINACION LÍMITE LÍQUIDO DE LA ARCILLA.....	102
6.4.1 Pruebas y Resultados.....	103
6.4.1.1 Limite Liquido de la arcilla.....	103
6.4.1.2 Interpretación de Laboratorio.....	103
6.4.1.3 Procedimientos.....	103
6.4.1.4 Pruebas de Laboratorio (Limite Liquido).....	107
6.4.1.4.1 Muestras Extraídas.....	107
6.4.1.4.2 Grafico de límite liquido de la arcilla.....	109
6.5 DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO DE LA ARCILLA.....	110
6.5.1 Introducción.....	111
6.5.2 Generalidades.....	112
6.5.3 Determinación del límite plástico.....	116
6.5.3.1 Plasticidad.....	116
6.5.4 Pruebas y Resultados.....	117
6.5.4.1 Arcilla.....	117

6.5.4.1.1 Interpretación de laboratorio.....	117
6.5.4.1.2 Equipos.....	117
6.5.4.1.3 Procedimientos.....	117
6.5.4.1.4 Tabla de resultado del límite plástico.....	120
6.5.4.1.5 Tabla de resultado generalizados.....	121

CAPITULO VII. PRUEBA DE COMPRESION AXIAL EN:

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.....122

7.1 INTRODUCCION.....	123
7.2 GENERALIDADES.....	125
7.3 AGUA.....	126
7.4 PROCEDIMIENTOS Y PRUEBAS.....	127
7.4.1 Elaboración de espécimen de dosificación de la arcilla, cascarilla de arroz, arena, cal y cemento.....	127
7.4.2 Tabla. Arcilla, cascarilla de arroz, cal, cemento y arena.....	129
7.4.3 Tabla. Arcilla, cascarilla de arroz, cemento y arena.....	130
7.4.4 Tabla. Arcilla, cascarilla de arroz, cemento y cal.....	131
7.4.5 Tabla. Arcilla, cascarilla de arroz, cal y arena.....	132
7.5 PROPIEDADES DE LA MEZCLA.....	135
7.5.1 Adobe con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena.....	135
7.5.2 Color de la mezcla.....	135
7.5.2.1 Color de suelo (adobe) con arena, cal y cemento.....	135
7.5.2.2 Cambios de color de la mezcla.....	138

7.5.2.3 Hidratación.....	138
7.5.3 Resistencia a la absorción del agua.....	139
7.5.4 Resistencia a la compresión.....	140
7.6 REQUERIMIENTO FISICO, QUIMICO Y MECANICO DE LA CAL.....	142
7.6.1 Tabla de requerimiento químico de las cales de Nicaragua.....	142
7.6.2 Tabla de propiedades mecánicas de las cales de Nicaragua.....	142
7.7 PROPIEDADES FISICAS DE LA CALCON LOS SUELOS.....	143
7.8 Zonas de producción de cal en Nicaragua.....	144
7.8.1 tabla de los sitios de ubicación y yacimientos de cal.....	144
7.9 ARENAS.....	145
7.9.1 Fuentes de arenas investigadas en Nicaragua.....	146
7.9.2 Arenas Naturales.....	148
7.9.3 Arenas Artificiales.....	149
7.10 CEMENTOS.....	151
7.10.1 Su fabricación.....	152
7.10.2 Constitución química del cemento.....	154
7.10.3 Resistencia del cemento.....	155
7.11 PRUEBAS REALIZADAS CON AGLOMERANTES Y AGREGADOS.....	157
7.11.1 Equipos.....	157
7.11.2 Procedimientos.....	158
7.11.2.1 Arcilla (90%), cascarilla de arroz (10%), cemento (11%) y cal(11%).....	159
7.11.2.1.1 cálculos.....	164

7.11.2.2 Arcilla (95%), cascarilla de arroz (5%), cemento (11%) y arena (11%).....	168
7.11.2.2.1 Cálculos.....	175
7.11.2.3 Arcilla (92.5%), cascarilla de arroz (7.5%), cemento (11%) y arena (11%).....	184
7.11.2.4 Arcilla (95%), cascarilla de arroz (5%), cemento (11%) cal (11%) y arena (11%).....	188
7.11.2.4.1 Cálculos.....	194
7.11.2.5 Arcilla (90%), cascarilla de arroz (10%), cemento (11%) cal (11%) y arena (11%).....	198
7.11.2.5.1 Cálculos.....	205
7.11.2.6 Arcilla (87.5%), cascarilla de arroz (12.5%), cemento (11%) cal (11%) y arena (11%).....	209
7.11.2.6.1 Cálculos.....	216
7.12 BASES DE ESTUDIOS.....	220
7.13 RECOMENDACIONES.....	224
CAPITULO VIII. CONCLUSIONES.....	226
8.1 CONCLUSIONES.....	227
CAPITULO IX. RECOMENDACIONES.....	231
9.1 RECOMENDACIONES CON RESPECTO A LA ELABORACION DE ESPECIMEN DE ARCILLA.....	232

9.1.1 Mejora tecnológica.....	232
9.1.2 Involucramiento del sector estatal en el mejoramiento tecnológico..	233
9.1.3 Fortalecimiento la capacidad técnica de los ladrilleros.....	233
9.1.4 Concientización ciudadana.....	233
9.1.5 Fomentar el acercamiento y dialogo entre ladrilleros y las autoridades municipales.....	234
9.1.6 Impulsar el uso de bosques manejados con planes de manejos forestal.....	234
9.1.7 Estimular el uso de controles de cantidades producidas y perdidas.....	234
CAPITULO X. BIBLIOGRAFIA.....	235
10.1 BIBLIOGRAFIA.....	235
CAPITULO XI. ANEXOS.....	236

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION.

Desde épocas antiguas la humanidad ha venido haciendo usos de medios naturales a su alcance para sustentar sus necesidades, una de ellas por ejemplo es la construcción de sus viviendas. De estos medios naturales el más usado por el hombre es el suelo, por ser un material que ha estado al alcance sin ningún costo y por encontrarse en su gran distribución geográficamente.

Esto nos indica que el uso del suelo en la antigüedad, por ser un material que ha estado a su alcance se basó en conocimientos empíricos, es decir, basados puramente en lo práctico, por ende no había un conocimiento científico de las propiedades del suelo que se les permitiera hacer un mejor uso de él, para la elaboración de ladrillos o muros.

A pesar de conocer solo empíricamente las propiedades del suelo, no se puede negar que las antiguas civilizaciones utilizaban suelos estabilizados, ya que el conocimiento de los materiales cementantes es muy remoto.

Los suelos con contenidos apreciables de arcilla, frecuentemente presentan graves problemas geotécnicos para su empleo en la construcción de infraestructuras debido a su elevada plasticidad, reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad como el hinchamiento y su retracción.

Por tanto el tratamiento en épocas presentes la estabilización de arcilla con cal, cemento, arena y cascarilla de arroz, es una solución muy importante desde punto de vista económico y técnico para la humanidad. La estabilización propiamente dicha consiste en realizar una mejora del suelo con el fin de aumentar su resistencia, disminuir la plasticidad y las contracciones volumétricas para que se pueda utilizar en obras de viviendas.

El primer paso para lograr un suelo estabilizado fue la mezcla de la arcilla, con cemento natural, cal, Arena, cascarilla de arroz y agua con lo que se había logrado un nuevo material dotado de mejores propiedades de estabilización.

Desde el punto de vista tecnológico, fue necesario resolver cuestiones propias de las mezclas de adobe: como el óptimo dopaje de cemento, cal, arena, la cascarilla de arroz y agua, las características del mezclado y el curado del producto.

En muchas poblaciones y ciudades pequeñas de nuestro país se ha utilizado el suelo al grado que las mayorías de las viviendas y edificios públicos están hechos con este material (adobe, talquezal, etc.).

Aunque en los últimos años el uso de este material y método ha sido muy limitado ante el temor de movimientos sísmicos y la falta de mejoras técnicas para trabajar el suelo como material de construcción.

Para nuestro país la diferencia de métodos y construcción de vivienda es muy significativa en cuanto al uso de materiales de construcción como la cal, cemento, arena y la cáscara de arroz constituye un sub-producto del proceso agroindustrial, con aplicaciones tan reducidas en la actualidad, que en la práctica se la puede considerar como material de desecho.

En la región del pacífico se pone en énfasis en los métodos antisísmicos dada la recurrencia de dichos eventos y aunque en esta zona existen construcciones de talquezal y adobe con cascarilla de arroz y en la región norte central se caracteriza por ser poco o nulamente sísmica lo que ha permitido construir viviendas con materiales provenientes de la tierra o el suelo con métodos menos rigurosos que en el pacífico.

Dado esto la necesidad que existe en Nicaragua y siendo el adobe un sistema fundamental en la construcción de viviendas de bajos recursos, se tiene la necesidad y obligación de realizar estudios de estabilización de materiales no tradicionales como el adobe, la cascarilla de arroz y algunos aglomerantes desde los puntos de vista técnicos y económicos para la construcción de viviendas de carácter social toda la región norte de Nicaragua como lo es San Isidro, Sebaco. (Ver mapa en anexos página 238).

Debido a los factores económicos, políticos, sociales y dado a nuestro nivel de sub-desarrollo y en particular a varios factores entre los cuales tenemos la gran escala de precios indiscriminados de los precios de los materiales básicos para la construcción de viviendas y producción de materiales y la limitación de los mismos.

La producción de materiales básicos o tradicionales se dirige a agregados áridos (arena) y aglomerantes (cemento y cal) que por tener un elevado costo de producción, así como no encontrarse distribuidos en toda la geografía nacional nicaragüense dificulta más el problema de la vivienda en nuestro país.

Los bancos de materiales áridos son más abundantes que el material aglomerante (cemento y cal) pero la producción y el transporte son altamente costosos. Esto obliga a que las viviendas sean construidas en condiciones precarias y sin ningún fundamento técnico, poniendo así en peligro la salud y vida de los habitantes.

Por eso en este trabajo se hace de vital importancia un estudio de materiales no tradicionales, económicos y fácilmente de obtener que ayuden a resolver o a disminuir el problema habitacional sobre todo en los lugares donde las construcciones tradicionales se hacen costosas económicamente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

- Determinar los cambios característicos a través de pruebas de laboratorio de adobe estabilizado con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena.

1.2.2. Objetivos Específicos.

1. Determinar la variación en la Resistencia de la Arcilla al mezclarle con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena.
2. Determinar la variación de Plasticidad de la Arcilla al mezclarle con cal, cemento y arena.
3. Determinar la variación de Límites de la arcilla al mezclarla con cal, cemento y arena.
4. Aplicar el método de análisis granulométrico mecánico para una muestra de suelo.
5. Determinar la reacción con las propiedades y características físicas y químicas de los aglomerantes (cal, cemento) para presentarlos como material de construcción con la arena, cascarilla de arroz y el adobe.

1.3 ANTECEDENTES.

1.3.1. Las arcillas en Nicaragua.

La actividad artesanal de la arcilla en Nicaragua data de hace muchas décadas y aún permanece sin variaciones en la elaboración y confección de sus productos, sin embargo continúa siendo una alternativa de trabajo para cientos de productores y trabajadores, debido a la demanda intensiva de mano de obra y a la aceptación de sus productos en los sectores más pobres de Nicaragua, como una disyuntiva en la construcción de sus viviendas.

En Nicaragua existen aproximadamente cuatrocientos setenta ladrilleras distribuidas mayoritariamente en los departamentos de Rivas, León, Matagalpa y Madriz, juntos estos departamentos tienen el 82% de los planteles existentes.

De estos departamentos, solamente en Madriz se utiliza como combustible aserrín, que se obtiene de los aserraderos, en el resto de los departamentos mencionados se utiliza leña o secados al sol, que es extraída de zonas cercanas a los planteles, lo cual contribuye al despale de las zonas aledañas y, por ende, al deterioro del medio ambiente.

Lo anterior es uno de los aspectos más sensibles para este sector, de ahí la urgente necesidad de buscar alternativas de utilización de combustibles, con el aprovechamiento de los residuos de producción obtenidos en trillos de arroz, beneficios de café, desechos de aserraderos, desechos de plataneras, cáscara de maní, entre otras, provenientes del procesamiento de materias primas propias de cada localidad.

Recae sobre este sector una exigencia para promocionar productos de calidad. Este requisito es el cumplimiento de las normativas publicadas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Sin embargo, esta normativa es para muchos fabricantes de ladrillos o bloques totalmente desconocida, y en caso de conocerla les resulta difícil cumplirla por la falta de maquinaria y equipos, ya que la actividad es totalmente manual.

De todo lo anterior se deriva la urgente necesidad de impulsar cambios importantes en este sector, entre los que destacan:

Legalización de la tenencia de la tierra donde están ubicados los planteles; Inscripción como empresas formales en las alcaldías; Cobertura de los trabajadores por el sistema de Seguridad Social; Impulsar la Seguridad e Higiene de los trabajadores; Promover el uso de otras alternativas para abastecerse de combustible, que permitan reducir el consumo de leña y sean secados al sol.

También el mejoramiento o construcción de hornos cerrados que eviten la fuga de gases que afectan la salud; Impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles adecuados para proteger la salud y el bienestar humano.

1.4. JUSTIFICACION

El adobe estabilizado con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena como forma económica, consiste en tratar de solventar en ciertas medidas el déficit de materiales locales y no tradicionales para la elaboración y construcción de viviendas y otras edificaciones, con el mínimo costo posible de la construcción, es decir, estabilizar adobe de suelo arcilloso cercanos al lugar de construcción aminorando en ciertas formas los costos de transporte y materia prima.

Ya que la existencia de los suelos arcillosos, es un problema persistente en algunas regiones del país, los cuales presentan graves complicaciones geotécnicas para la elaboración de cualquier tipo de obra ingenieril.

Este problema en suelos arcillosos es debido a la presencia de un índice plástico demasiado alto, que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción); así como una capacidad para soportar cargas demasiadas bajas.

La estabilización de suelos con cascarilla de arroz, cal, arena y cemento es una técnica que puede contribuir notablemente a mejorar los suelos arcillosos que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización en obras ingenieriles, en materiales aptos para su utilización.

Lo antes descrito motiva a realizar esta monografía, que defina específicamente la estabilización del adobe con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena que encontramos en la zona de Sebaco, Matagalpa.

Con el fin de determinar los cambios en la resistencia, plasticidad y límite de contracción que experimenta dicho suelo al añadirle diferentes porcentajes de estabilizantes en base al peso del mismo.

CAPITULO II

BASES TEORICAS

2.1 GENERALIDADES

Partiendo de los numerosos minerales (principalmente silicatos), que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas, los agentes de descomposición química llegan a un producto final llamado arcilla.

En la región del norte de Nicaragua podemos encontrar una amplia distribución de depósitos de arcilla, uno de los suelos arcillosos predominantes en esta región es la arcilla de colores.

La estabilización propiamente dicha consiste en realizar una mejora al suelo con el fin de aumentar su resistencia, disminuir la plasticidad y las contracciones volumétricas para que este pueda ser utilizado en las diferentes obras ingenieriles.

En este sentido, la fabricación de bloque y/o ladrillos de adobes con cascarilla de arroz aglomerada con cemento, cal adjuntando arena. En nuestro país se han efectuado algunos ensayos no sistemáticos, sin dejar referencias de interés.

Por tanto, el tratamiento y estabilización con Cal, Cemento y arena con las cascarilla de arroz ambos en este tipo de suelo es una solución muy interesante desde los puntos de vistas económicos y técnicos. (Ver fotos).

Foto No. 1. Tipos de agregados y aglomerantes



Además, desde el punto de vista tecnológico, fue necesario resolver cuestiones propias de las mezclas del adobe: como el óptimo dopaje de cemento, cal, arena y cascarilla de arroz, las características del mezclado y el curado del producto.

La fibra está constituida por carbohidratos complejos insolubles se denomina Nifex a los carbohidratos solubles elementos no nitrogenados.

Tabla 1. Tipos y porcentajes de fibras y carbohidratos

Húmedo	8.40%
Proteína	2.34%
Grasa	0.23%
Fibra	6.30%
Ceniza	19.50%

Realizado por el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos.

Otra característica de interés para los objetivos de la investigación es la dimensión de la cáscara. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Las características físicas más significativas son las siguientes:

Peso Específico	0.78 gr/cm ³
Densidad aparente sin compactar	0.108 gr/cm ³
Densidad aparente compactado	0.143 gr/cm ³

Densidad de cascarilla de arroz

A este efecto, se consideró conveniente clasificarla, según la dimensión preponderante, en armonía con la clasificación vigente para los granos de arroz. Se ha tipificado así. La cáscara en tres tipos: (ver tabla 3).

Tabla 3. Dimensiones

Largo más de 9 mm.
Mediano de 8 a 9 mm.
Corto de 7 a 8 mm.

Dimensión de la cascarilla de arroz.

La cáscara de arroz, al mezclarse solamente con la pasta de cemento y cal, modifica desfavorablemente las características de fraguado y endurecimiento propias al aglomerante. El fenómeno se potencializa cuando la cáscara no ha sido lavada y contiene polvo con porcentajes variables de materia orgánica. Además, durante las condiciones de servicio, la cáscara de arroz puede ser afectada por fluidos que penetren en el interior de las unidades de albañilería. Para la solución del problema existen varias alternativas.

La primera consiste en la aceleración del proceso de fraguado por la adición de un acelerante, evitando de esta manera la acción de los elementos orgánicos de la materia. Otra solución se encuentra en el lavado prolongado con agua, para eliminar el polvo y las materias desprendidas durante la agitación y contacto con el agua.

Para apreciar los beneficios obtenidos en el laboratorio por las pruebas de ensayos previos para determinar las modificaciones en la absorción de agua y la resistencia. En este sentido, no se encontró correlación entre ambos parámetros especialmente porque los requerimientos de agua exceden en mucho a lo correspondiente a la absorción.

Por otra parte, el incremento de la resistencia, a los 7 días de saturación, alcanzó valores superiores de los 21 kg/cm², este método desde el punto de vista del mejoramiento de la resistencia mecánica. De esta manera, quedaba por examinar la influencia de la mineralización en la durabilidad del producto.

A este efecto, se realizó una investigación para comprobar la calidad del material (cascarilla de arroz), su resistencia en un medio agresivo y estimar su durabilidad. Además se estudió la efectividad de los medios de prevención de la alterabilidad química.

Los ensayos acelerados de laboratorio se llevaron a cabo en condiciones más severas que las previsible durante servicio y se trató de acelerar la actividad del ensayo, guardando la máxima similitud con las condiciones reales, a fin de lograr una relación bien definida entre los resultados obtenidos en ambos casos.

Se tuvieron en cuenta, como condiciones y factores que afectan los resultados de los ensayos.

1. Forma de la muestra.
2. Extensión de superficie expuesta.
3. Tiempo de exposición.
4. Temperatura.

Como referencia, es útil recordar que la cascarilla de arroz posee una composición química parecida a la de la madera, es decir, celulosa, lignina, grasas y resinas, diferenciándose por una fuerte proporción de cenizas (18% sílice).

Como parámetro indicador se adoptó la determinación del desgaste corrosivo y del hinchamiento provocado por un líquido o gas, lo cual puede efectuarse en este caso por:

- Aumento de volumen.
- Deformación.
- Pérdida de resistencia mecánica.

Los resultados obtenidos permiten inferir lo siguiente:

No se observan efectos perjudiciales de las soluciones de sales en los tratamientos, quedando éstas absorbidas en la superficie de la cáscara.

La cascarilla de arroz sufre un proceso de disolución parcial por la soda cáustica, que produce deformación y pérdida de resistencia. Asimismo, las laminillas de cascara son quemadas en cierto grado en sus bordes por el Permanganato de Potasio.

Foto 2. Fábrica de la Empresa arrocera de Nicaragua.



Acopio de cascarilla de arroz. (Agricorp).

La acción corrosiva de las sustancias enumeradas queda neutralizada cuando la cáscara ha sido sometida a proceso de mineralización.

2.2 ESTUDIOS

Las arcillas tienen propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser moldeada fácilmente. Al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas acaecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica.

Por estas propiedades la arcilla es utilizada para hacer objetos de alfarería, de uso cotidiano o decorativo. Los diferentes tipos de arcilla, cuando se mezclan con diferentes minerales y en diversas condiciones, son utilizados para producir loza, y porcelana.

Dependiendo del contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado. Un horno diseñado específicamente para cocer arcilla es llamado horno de alfarero.

La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones de tapial, adobe y posteriormente ladrillo; elemento de construcción cuyo uso aún perdura. La arcilla fue utilizada en la antigüedad también como soporte de escritura.

Miles de años antes de Cristo, por cuenta de los sumerios en la región mesopotámica, la escritura cuneiforme fue inscrita en tablillas de arcilla. La arcilla cocida al fuego, la cerámica, es uno de los medios más baratos de producir objetos de uso cotidiano, y una de las materias primas utilizada profusamente, aun hoy en día. Ladrillos, vasijas, platos, objetos de arte, e incluso sarcófagos o instrumentos musicales, tales como la ocarina, fueron modelados con arcilla.

La arcilla también se utiliza en muchos procesos industriales, tales como la producción de cemento, elaboración de papel, y obtención de sustancias de filtrado.

Los arqueólogos utilizan las características magnéticas de la arcilla cocida encontrada en bases de hogueras, hornos, etc., para fechar los elementos arcillosos que han permanecido con la misma orientación, y compararlos con otros periodos históricos.

2.2.1 Alternativa de solución

Como alternativa de solución se considera que, dado el origen y naturaleza intrínseca de la arcilla, éste es susceptible de ser analizado cualitativa y cuantitativamente mediante técnicas empleadas por la Ciencia del Suelo y la American Society for Testing and Materials (ASTM, 1985). Esto con el objetivo de formar una base cognoscitiva y en un futuro mejorar las cualidades de estos materiales como una vía de calidad en la construcción de vivienda moderna.

2.3. ARCILLA

En términos de ingeniería, la palabra arcillas se refiere a un material plástico, inorgánico, natural, formado básicamente o en su totalidad, por partículas que tienen un diámetro menor de 0.005 mm. Desde el punto de vista de la mineralogía, arcilla significa un material cristalino, finamente dividido, formado principalmente por silicatos de aluminio hidratados, los materiales arcillosos.

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según la impureza que contiene, siendo blanca cuando es pura, surge de la descomposición de rocas que contienen feldespatos, originada en un proceso natural que dura decenas de años.

Foto No.3. Arcilla



Color natural.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclado con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por seres humanos, y aun es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocinas, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se da en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, productos de cemento y procesos químicos. La arcilla la podemos clasificar o agrupar desde varios y distintos punto de vistas:

- Por su hallazgo en su estado natural.
- Por su plasticidad.
- Por su porosidad.
- Por su punto de fusión.

Las distintas arcillas se formaron, primero a partir de la descomposición de las formaciones rocosas y por la acción de distintos factores, presión tectónica, movimientos sísmicos, distintos tipos de erosión etc... y segundo por la adquisición durante el viaje hasta su lugar de sedimentación, de diferentes impurezas de origen mineral.

Por lo tanto, dependiendo de las características de la roca de origen, existen numerables tipos de arcillas, cada una de las cuales posee unas propiedades particulares.

Entre los componentes básicos debemos destacar las materias plásticas como el coelín y la arcilla, los no plásticos y plásticos, como el cuarzo, la arena o la pegmatita, que presenta un papel fundamental en el proceso de transformación de los materiales dentro del horno, actuando como fundentes.

Los agentes de descomposición química llegan a un producto final llamado Arcilla. Químicamente es un silicato de aluminio hidratado, aunque en muchas ocasiones contienen también silicatos de hierro y de magnesio hidratados. Los tres grupos más importantes de los minerales de la Arcilla son: la montmorillonita, la illita y la caolinita. La estructura de estos minerales es generalmente cristalina y sus átomos están dispuestos en forma laminar.

La Arcilla está formada por un agregado en que predominan los minerales de tamaño microscópico o sub microscópico en forma de laminillas cristalinas. Se caracteriza por tener propiedades típicas de los coloides, como son la plasticidad, la cohesión y la facultad de absorber iones; estas propiedades aparecen en un amplio intervalo de contenidos de agua.

El agua contenida en una arcilla puede ser perdida en épocas de sequía por evaporación o a través de las plantas, sufriendo la masa arcillosa una notable contracción y produciéndose un agrietamiento generalizado del suelo.

Al ocurrir un nuevo período de lluvias el agua satura la superficie y se infiltra por las grietas del terreno, produciéndose una nueva hidratación con la siguiente expansión de las Arcillas y desaparición de las grietas.

Los suelos no saturados que contienen minerales arcillosos como la illita, la caolinita y la montmorillonita tienen tendencia a expandirse cuando se ponen en contacto con el agua.

Lambe y Whitman (1959), se han referido exhaustivamente a estos minerales y consideran que el potencial de expansión de los minerales arcillosos expansivos depende de los siguientes factores:

1. Estructura de los cristales.
2. Estructura del grupo de cristales.
3. Capacidad de intercambio catiónico.

Las Arcillas forman parte del grupo de los suelos finos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), ya que son partículas sólidas con un diámetro equivalente inferior de 0.002 mm.

Las propiedades plásticas de este suelo sirven también como parámetro fundamental para su detallada descripción y clasificación dentro de dicho sistema.

Independientemente de poder entender con plena certeza la génesis de las propiedades que presentan las arcillas y su relación con su contenido de agua, es bueno saber que por medio del desarrollo de la Mecánica de Suelo.

Las arcillas son aquellas sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos alumínicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del fuego.

Estas propiedades dan a las arcillas su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego. La arcilla tiene muchos otros usos además de la cerámica, principalmente en la construcción y fabricación.

La arcilla no es un mineral sino un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alumínicas. Está compuesta principalmente por sílice, alúmina y agua; conteniendo también otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados de hierro, álcalis y materiales coloidales.

En esencia los minerales de la arcilla son silicatos de aluminio. En algunas arcillas los elementos alcalinos se presentan como constituyentes; en otras el magnesio, el hierro o ambos elementos sustituyen total o parcialmente al aluminio. La mayoría de las arcillas se han formado por la desintegración de rocas con un alto contenido de alúmina, a pesar de que algunas son producto del metamorfismo. Estas últimas aparecen sólo en pequeñas cantidades.

Foto No.4. Arcilla vs. Humedad.



Arcilla húmeda.

Podemos hacer evaluaciones tanto cuantitativa como cualitativa de estas propiedades, que nos proveen de información suficiente para poder conocer y predecir el comportamiento de estos suelos ante circunstancias dadas y lograr por medio de este conocimiento la ejecución y desarrollo de obras civiles de gran magnitud.

2.4 ORIGEN Y LOCALIZACION DE LAS ARCILLAS.

La arcilla es producto de la alteración de las rocas ante la intemperización química o mecánicas de las mismas. Entre las rocas más comunes que al intemperizarse producen arcilla están las rocas ricas en minerales feldespáticos, que son silicatos de potasio, aluminio y oxígeno llamada ortoclasa. Las rocas que contienen alto contenido de ortoclasa.

La **ortoclasa** u **ortosa**: Es un mineral de la clase 9 (silicatos), sub grupo tecto silicatos, y dentro de ellos pertenece a los feldespatos, según la clasificación de Strunz. Con fórmula química $KAlSi_3O_8$.

Es uno de los minerales formadores de las rocas más abundantes en la corteza terrestre. También se conoce con el nombre de feldespato o feldespato ortosa, pero estos nombres no son del todo correctos, ya que no definen al mineral sino a un grupo de minerales del que la ortoclasa forma parte. Con otros minerales, son principalmente los granitos, las dioritas, etc.

El granito da lugar mecánicamente por disgregación a arena arcosa que está compuesta por los mismos minerales presentes en el granito, es decir, cuarzo y feldespato con los minerales complementarios. Acompaña, por lo general, a la desintegración mecánica una alteración química, por lo menos hasta el grado de caolinizar los feldespatos.

La desintegración es común en las regiones montañosas como San Isidro, Sebaco, Matagalpa, por encima del líquido donde llega la vegetación, en los climas cálidos, la descomposición química de los granitos de caoliniza los feldespatos y transforma otros minerales como la biotita y la hornablenda en clorita y ocasionalmente en caolín. (ver anexos pagina. 239).

Foto No. 5. Arcillas extraídas.



Banco de arcilla, Sebaco. Matagalpa.

De lo anterior se deduce que, la alteración coalinitica ocurre sobre todo en regiones montañosas que es donde se encuentran las rocas ígneas intrusivas (granito, diorita, etc.) generalmente, con clima tropical o sub tropical húmedo, donde las aguas siempre tienen carácter ácido, las mayorías por su contenido de óxido de carbono.

2.5. PROPIEDADES DE LA ARCILLA

2.5.1. PLASTICIDAD

La plasticidad es la propiedad que tiene las arcillas de deformarse sin elasticidad, sin cambio de volumen y sin ruptura visible. En las arcillas la plasticidad está condicionada a su contenido de agua, el modo por el cual el agua es detenida y la forma y tamaños de las partículas. (Ver figura).

Foto No. 6. Copa Casa Grande



Mostrando material ranurado en el laboratorio de suelos. (AASHTO T 89-90).

La medida de la plasticidad, se llama índice de plasticidad (I_p), se define como la diferencia que existe entre el contenido de agua con el cual la arcilla ofrece la mínima resistencia a la deformación (límite líquido, LI) y el agua contenida con el cual pierde plasticidad o se desmenuza cuando se enrolla en hilos delgados (límite plástico, I_p).

$$I_p = LI - Lp$$

Las arcillas plásticas generalmente tienden $I_p > 15$, los límites líquidos y plásticos son llamados Límites de Atterberg, y el agua es designada como porcentaje de peso seco, por lo tanto el índice líquido Li es:

$$Li = \frac{W - Lp}{LI - Lp}$$

Donde W es el contenido de agua del sedimento en el in situ. Las Arcillas son eminentemente plásticas.

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 plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse.

Foto No. 7. Plasticidad de la arcilla



Cilindros de 3 mm para límites plástico. (AASTHO T 90-97)

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. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la Arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

2.5.2. RESISTENCIA

La Resistencia es requisito fundamental e infalible que deben poseer todos los materiales de construcción. Se puede decir que un material es resistente cuando tiene la capacidad de soportar cargas que actúan sobre la estructuración. La resistencia de un material es dada por su capacidad de resistir cargas.

Foto No. 8. Máquina de CBR.



Ensayo de valor relativo soporte. (ASTM D 1883-73)

2.5.3. LIMITE DE CONTRACCION.

Una gran parte de los suelos de arcilla natural, tienden a encogerse cuando se secan, debido a la reducción de espacio poroso. Sin embargo, hay un límite, llamado límite de contracción, para este tipo de compactación o consolidación, que se define numéricamente para un suelo dado, como el contenido de agua en el cual no hay reducción de volumen, llevándose a cabo por pérdidas continuas de agua.

La contracción se puede originar por pérdidas de agua alrededor de los granos, o por pérdida de agua de la estructura de los minerales arcillosos, y es mayor en las arcillas que contienen motmorilonita que en otros suelos arcillosos.

El límite de contracción de un suelo (LC), 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. (Crespo Villalaz, Pág. 80).

Foto No. 9. Límites de contracción.



Capsulas metálicas para ensayos

El Límite de Contracción se explica cuando al perder agua una Arcilla saturada, el volumen de ella disminuye en una cantidad proporcional al volumen de agua perdida. A partir de cierto punto durante el estado de desecación el aire comienza a entrar en el suelo y el volumen del suelo decrece menos que el del agua perdida.

Cuando el suelo está muy seco los cambios en la humedad solo ocasionan ligeros cambios de volumen. Aunque esta transición es gradual se puede deducir un límite teórico por debajo de cual las disminuciones de humedad no originan disminuciones de volumen.

2.5.4. PERMEABILIDAD:

Las arcillas tiene baja permeabilidad, las aperturas inter granulares son demasiadas pequeñas para permitir una circulación rápida. Posiblemente la mayor cantidad que penetra en la masa arcillosa llegue a través de grietas de contracción y desecación.

Sin embargo, la permeabilidad inter granular de algunas arcillas es mayor que las de otra. Principalmente, estas variaciones se deben a la estructura del suelo arcilloso, grado de acomodamiento y rigidez del agua absorbida.

Las arcillas montmorilonitacas son, en general, menos permeables que otros tipos. Las arcillas de caolinitas cuyos granos tiene un diámetro de 100 a 1000 mayor que las montmorilonitacas, con escasa agua rígidas, son más permeables que las arcillas de motmorilonita, las ilitas ocupan un lugar intermedio.

2.5.5. TRABAJABILIDAD:

Esta propiedad exige que los materiales con que se va a trabajar sean de fácil aplicación en cuanto a la adaptabilidad aunque el costo de la obra se vea afectado. Por ejemplo: Ladrillo, bloque u otro diseño de adobe de tierra arcillosa, moldeada y secada al aire que se emplea generalmente en construcciones rurales. La fabricación de ladrillo, bloques u otro diseño de adobe, no requiere una habilidad especial, es fácil de producir.

2.5.6. HIGIENE:

En cuanto a la higiene se pide que el material se comporte favorablemente a la salud del hombre, al construir una vivienda, el material debe ser aislante e impermeable, no puede tener humedad ni emanaciones perjudiciales.

2.5.7. ECONOMIA:

Constituye requisito primordial a ser observado para la escogencia de un material de construcción, ya que depende en gran parte el costo de la construcción.

2.5.8. ESTETICA:

Que el colorido de los materiales sea visible en la construcción y de tonalidad agradable a la vista.

2.5.9. ASPECTO

A modo de aclaración puede decirse, que la construcción de ladrillos, bloque u otro diseño de adobe. Siendo más débil que otras de mamposterías es especialmente susceptible a la prueba de sismo. Pero, sin embargo, no se debe temer a los temblores ordinarios ya que la zona no es sísmica, y si además se emplean prácticas de construcción sana como usar algún refuerzo y/o utilizar vigas de concreto o de madera.

2.5.10. DURABILIDAD:

Se requiere de esta propiedad, porque se necesita que durante el periodo del uso del material no se deteriore, la durabilidad está ligada a la resistencia. Los materiales aplicados en obras externas o expuestas a la intemperie están sujetos a la acción, como son:

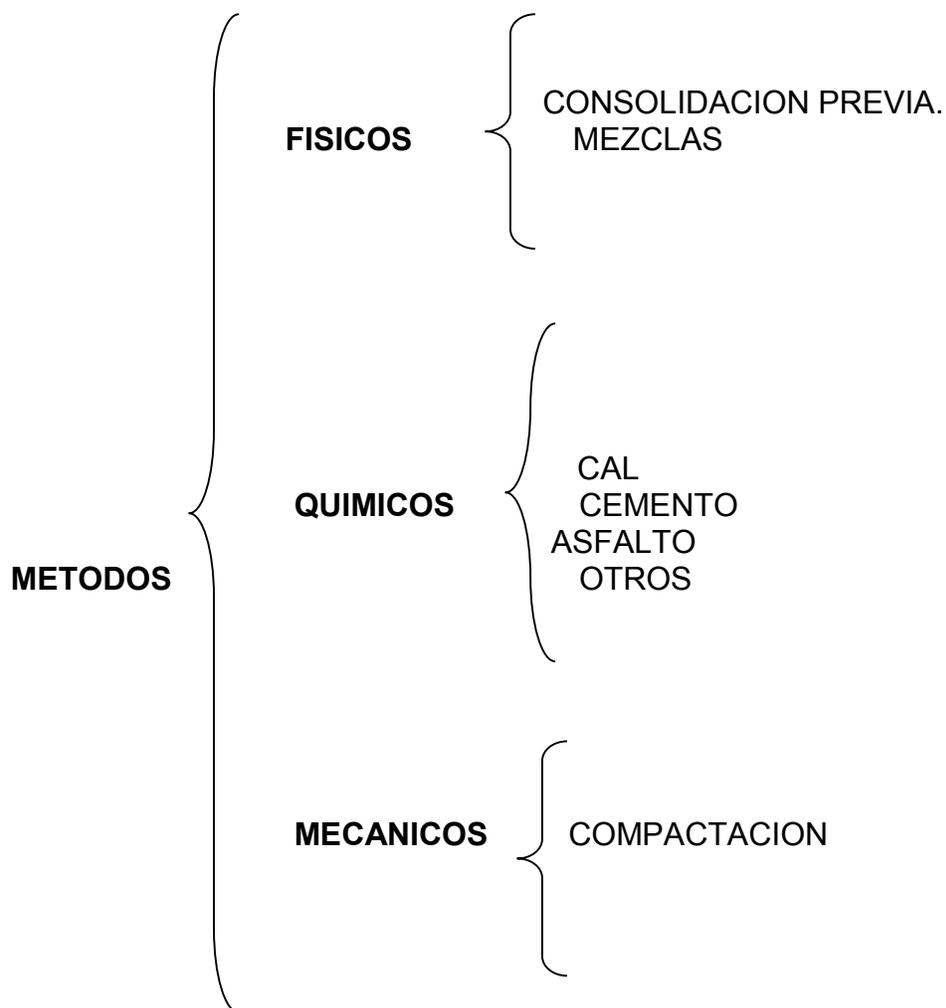
1. Físico-químico.
2. Mecánicas (aire, agua de lluvia).
3. Biológicas (vegetales, y animales)
4. Químicas.

2.5.11. INTUMESCENCIA:

La arcilla al absorber agua, aumenta de volumen, fenómeno contrario al de contracción, independientemente que la estructura del suelo es tan alterada por este, que no alcanza a recuperar su volumen inicial. La intumescencia es también el resultado de la inhibición de agua en la estructura de los minerales arcillosos.

2.6. ESTABILIZACION

Es un proceso que se ejecuta a los suelos para mejorar sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Esto debe entenderse como el mejoramiento artificial de sus propiedades y características para poder ser usados en obras de construcción. Existen distintos y variados métodos de estabilización como son: físicos, químicos y mecánicos.



Método para Estabilización de Suelos.

2.7. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.7.1. Concepto

Llamamos estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

2.8. ESTABILIZACION FISICA

Puede ser por medio de una consolidación previa. Además puede ser también una mezcla con otra materia, ya que a la tierra que se quiere estabilizar se le agrega material con partículas de tamaño ausente en ella (la tierra o adobe), mejorando su granulometría.

2.8.1. Mejoramiento Físico:

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos para realizar el mejoramiento físico, los cuales son:

2.8.1.1. Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las gravas-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera o de una cimentación ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las Arcillas, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad.

La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

2.9. ESTABILIZACION QUIMICA

Este tipo de estabilización se logra agregando al suelo material con otra composición química, como son el cemento, asfalto, cal. En el caso de cal y el cemento, la sílice de la arcilla o suelo reacciona con el calcio de la cal y el cemento para formar silicatos de calcio que son cementantes.

2.9.1. Mejoramiento Químico:

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

2.9.1.1. Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

2.9.1.2. Cemento: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

2.9.1.3. Productos Asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.

2.9.1.4. Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para Arcillas y Limos.

2.9.1.5. Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para Arcillas y Limos.

2.9.1.6. Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.9.1.7. Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.9.1.8. Hule de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.10 ESTABILIZACION MECANICA

Se refiere ante todo a la compactación de suelos que es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas y aumento de su peso específico mediante la acción de cargas impuestas que provocan la expulsión del agua y del aire de sus poros y la consecuente disminución de su volumen.

2.10.1. Mejoramiento Mecánico:

Es aquel con el que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

2.10.1.1. Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

Especialmente cuando ha sido convenientemente estabilizado y por lo tanto cumple con:

- ✓ Aislamiento total exigente.
- ✓ Una elevada capacidad térmica, retrasa los cambios de temperatura.
- ✓ Las paredes son sólidas y fuertes con respecto a las cargas gravitacionales.
- ✓ Es a prueba de fuego.
- ✓ Es a prueba de descomposición térmica.

2.11. OBTENCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA.

Localizado el lugar donde se extraerán las muestras para la determinación de la estabilización de la arcilla con cascarilla de arroz, cal y cemento se realizan los sondeos por medio del método de Calicatas o Pozo a Cielo Abierto a través del procedimiento descrito.

Foto No. 10 banco de arcillas, San Isidro.



Banco de arcillas Sebaco. Matagalpa.

Se utilizaron los siguientes materiales.

2.11.1 EQUIPOS

- Palas
- Barras
- Sacos (capacidad 50 kg).

2.11.2. PROCEDIENTOS DE CAMPO.

1. Se ubicó el lugar donde se extraerán la muestra. Se realizaron sondeo exploratorio (50 x 50 cm) para determinar la profundidad de donde se obtendrán las muestras y el estrato de Arcilla.
2. Se hizo limpieza la superficie del sitio predeterminado.
3. Se marcó el perímetro del pozo a cielo abierto sobre la superficie de suelo (1.5 x 1.5 metros).
4. Se realizó la excavación en toda el área del pozo hasta alcanzar una profundidad que este 15 cm por arriba del nivel superior de donde se extrajeron las muestras.
5. Continuar la excavación perimetralmente siguiendo el contorno del pozo con un ancho de franja de 50 cm, hasta sobrepasar unos 10 cm el nivel inferior de la muestra.
6. Se obtuvieron la muestra del suelo que se extrae durante la excavación perimetral, exactamente a la profundidad de donde se tomara la muestra, colocándola en sacos previamente identificados.

2.11.3. PREPARACION DE LA MUESTRAS SECA PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

2.11.3.1. Procedimientos realizados en laboratorio.

Las muestras extraídas del campo son procesadas para los ensayos de laboratorio por medio de los siguientes procedimientos y se utilizaron los equipos.

2.11.3.2. Equipo

- Mazo de madera de diámetro de 10 cm x 15 cm de altura.
- Tamiz No.4.
- Charolas.
- Cucharón.

1. Las muestras de arcillas, se metieron al horno para agilizar el proceso de secado.
2. Durante el periodo de secado (24horas), mientras la muestra lo permitía, comenzó a ser disgregada utilizando un mazo de madera de aproximadamente 10 cm de diámetro y 15 cm de altura. (ver foto 11.)

Foto No. 11. Preparación de material extraído de banco.



Disgregación de la muestra a utilizar.

3. Una vez sacadas del horno se enfrió la muestra y se comienza a disgregar el suelo: se tamiza el material por el tamiz No. 4 (4.76 mm) y el retenido se colocan en una charola y se desintegra nuevamente, dejando caer el mazo. Se vuelve a tamizar el material por dicho tamiz hasta que todo el suelo haya pasado a través del mismo para no desperdiciar materia.

Foto No. 12. Tamizado de muestras extraídas.



Tamizado del material, malla No.4.

4. Una vez disgregada la muestra se procede al cuarteo, tomando por medio de dicho procedimiento la cantidad necesaria de material, para la realización de cada uno de los diferentes ensayos.

Foto No. 13. Material ya tamizado



Arcilla tamizada, Tamiz No. 40.

5. La muestra representativa tomada para los Límites de consistencia se disgrega a través del tamiz No. 40 y la muestra representativa para el resto de los ensayos se disgregan por el tamiz No. 4.

Foto No. 14. Preparación del material por tamiz No. 4.



Disgregación a través del tamiz No. 40 y No. 4.

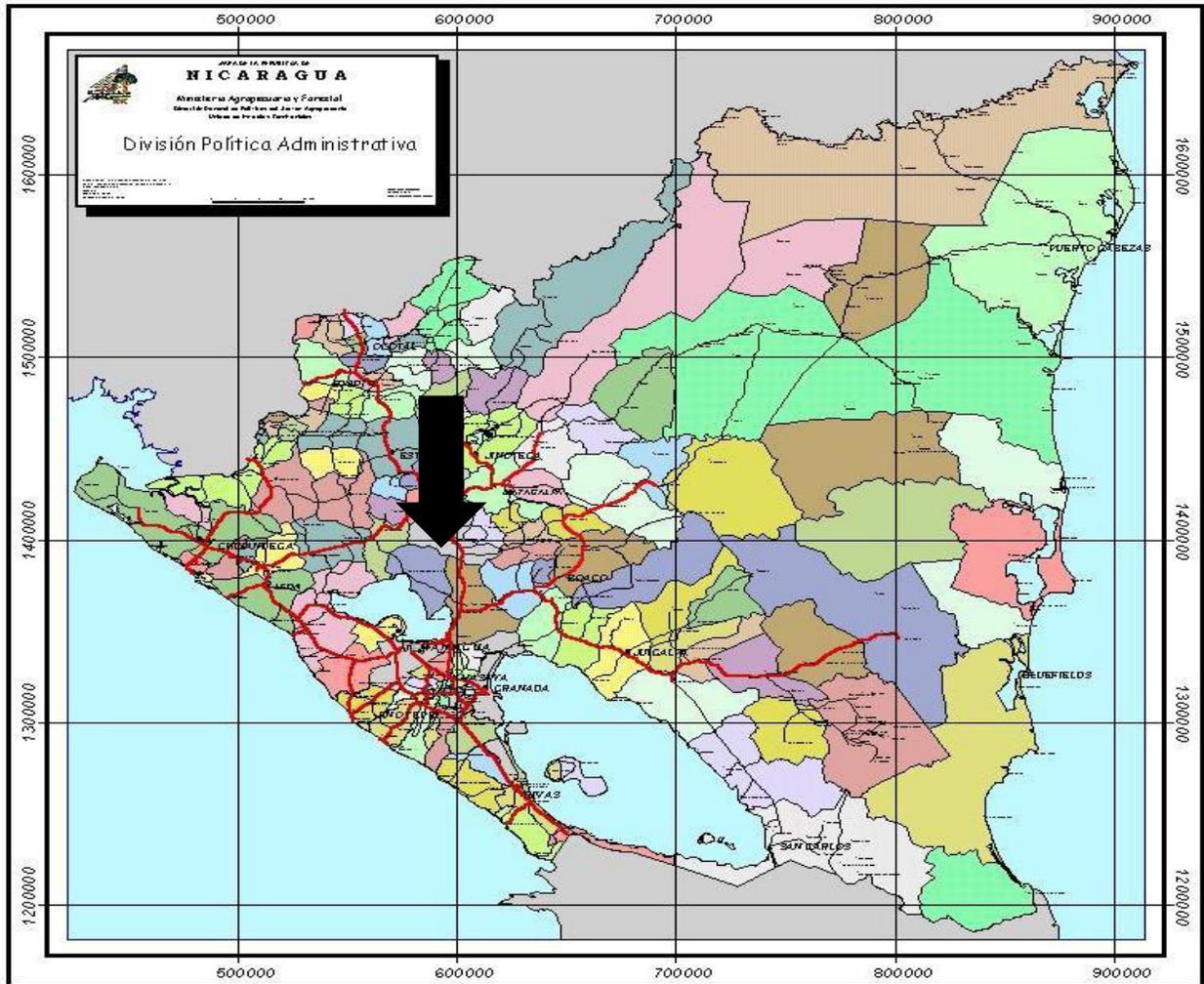
Las Referencia tomada en cuenta en la Preparación Seca de las muestras es la siguiente:

- A.S.T.M. D 421, A.A.S.H.T.O. T 87

2.11.4. UBICACION DEL SITIO DE EXTRACCION DE LAS MUESTRAS EN ESTUDIO.

Teniendo en cuenta que se conoce empíricamente que la Arcilla, es un suelo arcilloso que predomina en la Región del norte de Nicaragua, se selecciono la zona ubicada entre Ciudad Dario y Sebaco, carretera panamericana norte, finca el naranjo, propiedad del Señor Jose Ozorio y extraida de la Rivera del Rio Viejo de esa comunidad.

De donde se extrajeron las arcillas para el estudio fisico en el laboratorio de suelos y materiales de la Universidad Nacional de Ingenieria recinto Pedro Arauz Palacios, (UNI-RUPAP).



2.11.5. Ubicación de Sn Isidro. Sebaco. Matagalpa.

Lugar de Extracción de la muestra Arcilla.

Departamento:	Matagalpa
Municipio:	Sebaco
Ubicación:	San isidro.
Coordenadas:	Panamericana norte
Número de Pozos:	1
Profundidad:	1.50 metros.

2.11.6. Bancos de Arcilla

Los bancos de Arcillas están ubicados generalmente en fincas agropecuarias, sean éstos de propiedad de los ladrilleros o de terceros.

Foto No. 15 banco de arcilla.



Área de excavación de muestras de arcilla.

Estos bancos presentan grandes excavaciones lo que las convierte en no aptas para la siembra o cultivo, siendo las zonas donde se observó grandes excavaciones de los bancos de tierra: Jalapa (Nueva Segovia) y San Isidro (Matagalpa).

CAPITULO III.

ESTUDIO GRANULOMÉTRICO

(AASHTO T 87-70, AASHTO T 88-70, ASTM D 421-58 Y D 422-63).

3.1. GENERALIDADES

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen un suelo determinado. A comienzo de la investigación de la arcilla, las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución.

El Análisis Granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene

Hoy en día, se sabe que es necesario tener conocimiento de otras características propias de los suelos de las cuales dependen sus propiedades mecánicas, sin embargo, la determinación de la distribución granulométrica es aun útil para la identificación, clasificación de los suelos y otras aplicaciones.

Los ingenieros interesados en suelos deben estar suficientemente familiarizados con los criterios técnicos basados en la distribución granulométrica y con los métodos más importantes para su determinación, pues estos temas ocupan aun un espacio apreciable dentro de la literatura técnica y se hace necesario al ingeniero moderno estar más informado sobre esta materia.

Los límites de tamaños de partículas que forman parte de un suelo ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Tal criterio fue usado en la Mecánica de Suelos desde un principio e incluso de la época moderna de esta ciencia.

Con los procedimientos disponibles se puede efectuar el trazo de las curvas granulométricas, contando con agrupaciones de partículas de un suelo en mayor número de tamaños diferentes.

Estas curvas se pueden ampliar notablemente con tamaños muy finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis por sedimentación. La diferenciación más general permite separar a los suelos granulares de los suelos finos.

La denominación de suelos granulares corresponde a los materiales donde predominan los tamaños mayores al tamiz No. 200 que corresponde a un diámetro de 0.075 mm (este es aproximadamente el menor tamaño de partículas individuales que el ojo humano puede alcanzar a distinguir), mientras que los suelos finos son aquellos en que predominan los tamaños menores a ese tamiz.

3.2. Suelos Granulares

La variedad en el tamaño de las partículas de suelos, casi es ilimitada; por definición, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente.

Entre los suelos granulares, el tamiz No. 4, que corresponde a una abertura de 4.75 mm, permite separar las gravas de las arenas; esto quiere decir que las gravas son mayores a aproximadamente 5 mm y las arenas son menores a este tamiz. Las gravas pueden dividirse en gruesas y finas y las arenas en gruesas, medias y finas.

El término “bolón” se refiere a los tamaños mayores de 70 mm y como el ensayo granulométrico convencional analiza solo las partículas menores de 70 mm, se hace indispensable obtener en terreno (por ejemplo, en las paredes de un pozo o calicata), una elevación visual y aproximada del tamaño máximo (cuando este supere a las 70 mm), así como el porcentaje aproximado de bolones.

Tabla No, 4. Clasificación por tamaños de los Suelos Granulares.

Material	Característica	Tamaño
Bolón	-----	Mayor de 70 mm
Gravas	Gruesa	30 mm a 70 mm
	Medias	5 mm a 30 mm
	Finas	2 mm a 5 mm
Arenas	Gruesa	1 mm a 2 mm
	Media	0.2 mm a 1 mm
	Fina	0.1 mm a 0.2 mm

Clasificación de Suelos granulares, (Basada en una proporción original de Kopecky).

3.3. Suelos Finos

En geotecnia, los suelos finos se diferencian entre Limos y Arcillas por sus características plásticas. Esto debido a que existen suelos de tamaños muy finos que no tienen ni la forma, ni las características, ni la plasticidad, ni por lo tanto el comportamiento de las Arcillas.

Las diferencias más relevantes entre los Limos y las Arcillas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla No.5. Características de limos y la arcilla.

Limos	Arcillas
Diámetro 0.075 - 0.002 mm	Diámetro < 0.002 mm
No suelen tener propiedades coloidales	Suelen tener propiedades coloidales.
A partir de 0.002 mm y a medida que aumenta el tamaño de las partículas, se va haciendo cada vez mayor la proporción de minerales no arcillosos	Consiste en su mayor parte en minerales arcillosos
Tacto Áspero	Tacto Suave
Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos.	Se secan lentamente y se pegan a los dedos.
Los terrones secos tienen una cohesión apreciable, pero se pueden reducir a polvo con los dedos.	Los terrones secos se pueden partir pero no reducir a polvo con los dedos.

Diferencia entre Limos y Arcillas. (Geotecnia y Cimiento, 2^{da} Edición 1975, J.A. Jiménez Salas y J.L de Justo Alpañes).

3.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

Para clasificar por tamaño las partículas gruesas el procedimiento más efectivo es el del tamizado y al aumentar la finura de los granos se hace necesario recurrir a procedimientos por sedimentación, (método hidrométrico).

3.4.1. Método por tamizado.

El método por tamizado se usa para obtener la distribución de los tamaños mayores de los suelos; generalmente se llega así hasta el tamaño correspondiente al tamiz No. 200 (0.075mm).

La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas cuadradas descendientes hasta el tamiz No 200; lo retenido en cada tamiz se pesa y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todos los tamices de mayor tamaño; el complemento al 100% de esa cantidad es igual al porcentaje de suelo que pasa por dicho tamiz.

El juego de tamices a utilizar en el análisis granulométrico, estos se seleccionan de forma tal que la abertura de la malla de cada tamiz sea el doble de la abertura de la malla anterior, colocándolos siempre de abajo hacia arriba; el primer tamiz de la serie será el tamiz No. 200 (0.075mm) a partir de la cual se aplicara la regla anteriormente definida.

Foto No. 16. Juego de tamices a utilizar en el análisis granulométrico



Juegos de tamices.



Material tamizado No. 40.

El proceso de tamizado no provee información sobre la forma de los granos del suelo, solamente da información sobre los granos que pueden pasar, o que se orientan adecuadamente para pasar a través de la abertura del tamiz.

3.4.2. TAMAÑO DE LAS ABERTURAS DE LOS TAMICES NORMALIZADOS.

Tabla No.6. Aberturas y tamaños de juegos de tamices.

TAMIZ	ABERTURA (mm)
3"	76.2
2 ½"	63.5
2"	50.8
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾ "	19.1
½ "	12.7
3/8 "	9.52
¼ "	6.35
No. 4	4.76
No. 10	2.00
No. 40	0.420
No. 200	0.075

Diámetro de aberturas.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en una curva, denominada curva de distribución granulométrica.

Los procedimientos patrones utilizan el porcentaje que pasa como la ordenada en escala natural y como abscisa los diámetros de las partículas de suelos en escala logarítmica.

Foto No. 17 juegos de tamices.



Mallas para la distribución granulométrica.

3.5. HIDROMETRIA

La textura del suelo está determinada por la cantidad y proporción de arena, limo y arcilla en ella. La arcilla es mucho más fina que la arena y si es el compuesto predominante, el suelo tendrá una textura fina y será pegajoso cuando esté húmedo y duro al secar. Las características de suelos afectados por la textura incluyen el drenaje, su capacidad de retención de agua, la susceptibilidad a la erosión y el contenido de materia orgánica. Una manera de determinar la textura exacta y el porcentaje de cada tipo de partícula, es utilizar el método del hidrómetro para determinarla.

El método del hidrómetro implica dispersar las partículas de suelo con una sustancia tal como meta fosfato de sodio y después agitar la solución. La cantidad de arena, limo y arcilla en la muestra de suelo está determinada, después de la dispersión, por un hidrómetro, que mide las partículas en suspensión.

La cantidad de cada tipo de partícula es determinada utilizando la ley de Stokes, que determina la cantidad de cada tipo de partícula presente por la velocidad a la que cada tipo de ellas cae fuera de suspensión, en base a su tamaño.

Foto No. 18. Textura de suelo seco en intemperie.



El suelo, mezcla de arena, limo y arcilla.

Cuando un hidrómetro es utilizado para analizar la textura del suelo, debe ser calibrado midiendo la temperatura del instrumento. Todas las lecturas deben ser corregidas para las variaciones en temperatura, porque esto afecta la viscosidad y densidad del agua.

Si esto no se tiene en cuenta, los valores incorrectos de la densidad del agua podrían compensar las lecturas y las lecturas para los tamaños de las partículas podrían estar equivocadas.

3.6. PROCEDIMIENTO DE CAMPO Y LABORATORIO

Las muestras obtenidas en el campo se trasladaron hacia el laboratorio de materiales de suelos de la UNI-RUPAP para realizar los ensayos o pruebas pertinentes para su debido estudio y clasificación. Los estudios y ensayos realizados a dicha muestra se presentan a continuación con su respectiva designación.

Tabla No. 7. Designación de tipos de ensayos para laboratorios.

Descripción del ensaye	Designación ASTM.
Análisis granulométrico	D 422-61
Limite Líquido	D 423-61
Limite Plástico e índice de plasticidad	D 424-59
Prueba de Proctor	D 558

Reglamentos y normas utilizados en los estudios de laboratorio.

3.7. Análisis granulométrico (Método Por Tamizado).

Dentro de la masa de suelo la variedad de tamaño de las partículas es limitada, el análisis granulométrico consiste en la separación y clasificación de los granos por el tamaño que los componen.

3.7.1. Equipo.

- Tamiz No 10, No 20, No40, N0 100, No 200
- Horno con temperatura controlada de 100 a 110°C.
- Balanza con precisión de 0.01gr.
- Taras.

3.7.2. Procedimiento del estudio granulométrico de la arcilla.

1. Tomar una cantidad de 300 a 400 gr de arcilla extraído del campo.

Foto No. 19. Arcilla tamizada



- 2 Colocar la muestra tamizada en una tara debidamente identificada y pesada, se deja secando en el horno a 110°C por un periodo de 24 horas.

Foto No. 20 arcilla saturada



- 3 Del material secado al horno se pesan de 150 a 200 gr. (usar una balanza de 0.01 gramos de precisión), se colocan en una tara previamente identificada y se satura la muestra por un periodo de 24 horas.

- 4 La muestra saturada se vierte poco a poco sobre el tamiz N0 200 y se comienza cuidadosamente con el proceso de lavado a través del mismo utilizando agua potable. El proceso de lavado continúa hasta que el agua pase a través del tamiz utilizando agua potable.

Foto No. 21 y 22. Lavado de muestras.



Arcilla sucia/saturada.



Arcilla lavada.

El proceso de lavado continúa hasta que el agua pase a través del tamiz manteniendo su transparencia.

5. verter cuidadosamente el residuo del tamiz, con ayuda de agua, en su correspondiente tara y dejar sedimentar hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente, eliminar lo más que se pueda de agua e introducir la suspensión al horno a 110°C por un periodo de 24 horas.

Foto No. 23 y 24. Muestra lavada



6. Una vez seca la muestra se retira del horno, se deja enfriar y se anota su peso seco.
7. El residuo seco obtenido después del lavado se tamiza por un periodo de 10 minutos en cada uno de los siguientes tamices No. 10, No. 40, No 200; y se anotan los pesos retenidos en cada tamiz(usar una balanza de 0.01 gr. De precisión).

Foto No. 26, arcilla tamizada



Mallas No. 10, 40, y 200, con muestras ya tamizadas.

3.8. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

3.8.1 Método por Tamizado.

Con el peso retenido parcial (W_R) de cada tamiz utilizado, calcular el porcentaje retenido parcial (%RP), el porcentaje retenido acumulativo (%ra) y el porcentaje que pasa cada tamiz (%QP) de la siguiente forma:

$$\%RP = (W_R/W_t) * 100.$$

Dónde:

W_t = Peso seco total, gr.

Porcentaje retenido acumulativo (%RA):

$$\%RA = \%RP \text{ del tamiz anterior} + \%RP \text{ del tamiz en cuestión}$$

Porcentaje que pasa cada tamiz (%QP):

$$\%QP = 100 - \%RA.$$

A partir de la curva granulométrica se puede deducir en primera instancia el tipo de suelo principal y los componentes eventuales.

3.9. ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

En el análisis por tamices se obtuvieron los resultados de pesos parciales retenido en cada uno de ellos. Después se calcula los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos, los porcentajes que pasan por cada tamiz.

La presentación gráfica se efectúa por medio de la curva granulométrica, que es la curva de los porcentajes que pasa por cada tamiz, esta curva se grafica en papel semi logarítmico.

En las ordenadas (escala natural del papel) se anotan los porcentajes que pasa y en las abscisas (escala logarítmica del papel) se anotan los diámetros de los tamices en milímetros.

3.10. GRANULOMETRIA DE LA ARCILLA.

3.10.1 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

Ensaye No. 1:

ARCILLA: 200 gr.

PESO SECO: 204.65 gr.

PESO SECO LAVADO: 43.51 gr.

PASA TAMIZ No.200: 156.49 gr.

Ver resultados en la siguiente tabla siguiente tabla No. 8:

Tabla No. 8. Resultados de análisis granulométrico de la Arcilla.

TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRAMOS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
1 ½				
1”				
¾ “				
½ “				
3/8 “				
No. 4				
PASA No. 4				100%
SUMA				
ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ NO. 4 (LAVADO)				
TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRS.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
10	6.51	3	3	97
40	19.09	10	13	87
200	17.91	9	22	78
PASA 200	156.49	78	100	
SUMA	200			

Granulometría de la Arcilla. ASTM D 421-58 y D 422-63.

3.10.2 CONCLUSION.

Grupo A-6

El suelo de este grupo es la arcilla plástica que pasa en su mayor parte, por ejemplo, el 75% o más por el tamiz No.200.

También quedan incluidos en este grupo suelos arcillosos con mezcla de grava o arena, siempre que el tanto por ciento retenido en el tamiz No.200, no pase del 64%. Las propiedades arcillosas del suelo son tanto más pronunciadas cuanto mayor es el índice de grupo (de 1 a 16).

Pertenece al grupo CL.

En estos grupos se encuentran las arcillas inorgánicas, el grupo CL comprende la zona definida por límite líquido menor del 50% e índice de plasticidad mayor que 7%.

3.11. GRANULOMETRIA DE LA ARENA.

3.11.1. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

Ensaye No. 2:

ARENA: 200 gr.

PESO SECO: 356.08 gr.

PESO SECO LAVADO: 188.23 gr.

PASA TAMIZ No.200: 11.77 gr.

Ver resultados en la siguiente tabla (tabla 9):

Tabla No. 9. Resultados de análisis granulométrico de la Arena.

TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRAMOS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
1 ½				
1"				
¾ "				
½ "				
3/8 "				
No. 4				
PASA No. 4				100%
SUMA				
<u>ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ NO. 4 (LAVADO)</u>				
TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRS.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
10	17.95	19	9	91
40	123.89	62	71	29
200	46.39	23	94	6
PASA 200	11.77	6	100	
SUMA	200 gr	100		

Granulometría de la arena. ASTM D 421-58 y D 422-63.

3.11.2. CONCLUSION.

Grupo A-1-b (0)

Incluye los suelos que consisten predominantemente en trozos de rocas o gravas, con un ligante de buena calidad o sin él.

Grupos SM

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12%, en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido para partículas finas.

La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre “Nula” y “Media”; es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla No. 40 debajo de la línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4 (cuatro).

3.12. GRANULOMETRIA DE LA ARCILLA Y ARENA.

3.12.1. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

Ensaye No. 3:

ARCILLA 200 gr más ***ARENA*** 22 gr.

PESO SECO: 226.71 gr.

PESO SECO LAVADO: 65.57 gr.

PASA TAMIZ No.200: 156.43 gr.

Ver resultados en la siguiente tabla (tabla 10):

Tabla No. 10. Resultados de análisis granulométrico de la Arcilla y Arena.

TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRAMOS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
1 ½				
1"				
¾ "				
½ "				
3/8 "				
No. 4				
PASA No. 4				100%
SUMA				
<u>ANÁLISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ NO. 4 (LAVADO)</u>				
TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRS.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
10	6.91	3	3	97
40	34.41	16	19	81
200	24.25	11	30	70
PASA 200	156.43	70	100	
SUMA	222 gr	100		

Análisis granulométrico. ASTM D 421-58 y D 422-63.

Tabla No. 11. RESULTADO DE ANALISIS GRANULOMETRICO.

ANALISIS GRANULOMETRICO Método del Tamizado (Lavado).			
Ensayo No	1	2	3
Material	Arcilla	Arena	Arena y Arcilla.
Tamiz (Diámetro)	<i>Porcentaje que pasa</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>
No.4 (4.75mm)	100%	100%	100%
No.10 (2.00mm)	97%	91%	97%
No. 40 (0.425 mm)	87%	29%	81%
No.200 (0.075mm)	78%	6%	70%

Resultado generalizados de análisis granulométrico. (ASTM D-422, AASHTO T 27-88)

CAPITULO IV

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARCILLA POR MEDIO DEL METODO PROCTOR ESTÁNDAR

(ASTM D 2216-71)

4.1. INTRODUCCION

Cualquier proyectista de fundaciones en algún momento ya tuvo que hacer su diseño basado en conclusiones procedentes de un estudio geotécnico, incluyendo la mejora de una capa de suelo de espesor variable, por medio de la sustitución de este por un material granular o de material compactado, por ejemplo, el 95% Proctor Normal o Proctor modificado.

Pero, ¿qué significa Proctor?, No todos los terrenos naturales en los cuales se debe realizar un cierto tipo de fundación, son adecuados. Un suelo granular suelto, por ejemplo, puede sufrir deformaciones elásticas inadmisibles. Lo mismo puede ocurrir a un terreno cohesivo por razones de consolidación. Debe entonces ser mejorado este suelo.

La compactación no es seguramente el único método de mejora de suelos, aún si es uno de las más económicos y populares. Existen varios otros métodos, por ejemplo: las inyecciones, el congelamiento, la vibro fluctuación, la pre compresión, los drenes, la estabilización con materiales como la cal o las cenizas.

Con la compactación variamos la estructura del suelo y algunas de sus características mecánicas. Algunos de los parámetros que varían con la compactación son: permeabilidad, peso específico y resistencia al corte.

A través de la compactación buscamos las propiedades adecuadas para el suelo de una determinada fundación, así como una buena homogenización del mismo, lo cual causará una reducción de la posibilidad de producirse asentamientos diferenciales.

La compactación consiste en un proceso repetitivo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua, al fin de garantizar las características mecánicas necesarias del suelo.

En primer lugar se lanza sobre el suelo natural existente, generalmente en camadas sucesivas, un terreno con granulometría adecuada; a seguir se modifica su humedad por medio de aeración o de adición de agua y, finalmente, se le transmite energía de compactación por el medio de golpes o de presión.

Para esto se utilizan diversos tipos de máquinas, generalmente rodillos lisos, neumáticos, piel de cabra, vibratorios, etc., en función del tipo de suelo y, muchas veces, de su accesibilidad.

Con los ensayos se pretende determinar los parámetros óptimos de compactación, lo cual asegurará las propiedades necesarias para el proyecto de fundación. Esto se traduce en determinar cuál es la humedad óptima que se requiere, con una energía de compactación dada, para obtener la densidad seca máxima que se puede conseguir para un determinado suelo.

La humedad que se busca es definida como humedad óptima y es con ella que se alcanza la máxima densidad seca, para la energía de compactación dada. Se define igualmente como densidad seca máxima aquella que se consigue para la humedad óptima.

Es comprobado que el suelo se compacta a la medida en que aumenta su humedad, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto de máximo, cuya humedad es la óptima. A partir de este punto, cualquier aumento de humedad no supone mayor densidad seca a no ser, por lo contrario, una reducción de esta.

4.2. GENERALIDADES.

Se define como compactación, en el campo de la Mecánica de Suelos, al proceso mecánico que aumente el peso volumétrico de un material. Es conveniente compactar para producir masas fuertes, libres de asentamientos y resistentes al agua.

La variación de la humedad en los suelos y su efecto en la compactación es el siguiente: con poca humedad los suelos coherentes forman terrones de tierra que no se rompen fácilmente y dificultan la compactación.

Al añadir agua se facilita al principio, el reblandecimiento y la rotura de los terrones de modo que con el mismo esfuerzo se obtiene una mayor densidad. Aunque, la adición solo de agua es beneficiosa hasta un cierto límite la cantidad de agua (humedad óptima) es suficiente para rellenar todos los huecos después de haber revestido sus partículas, pues todo exceso de agua servirá para separar las partículas y reducirá la densidad.

Igual que las demás condiciones, un aumento del esfuerzo de compactación produce un incremento de densidad del suelo, solamente si la humedad es menor que la óptima correspondiente al mayor esfuerzo con contenido de humedad superiores al óptimo no se produce más compactación con un esfuerzo mayor, porque no es posible la expulsión del exceso de agua contenida en los poros.

Como consecuencia los fenómenos de compactación incrementados humedades mayores que la óptima, solo sirve para poner en presión el agua de los huecos, lo que facilita las deformaciones tangenciales del suelo.

4.3. EQUIPOS PARA PRUEBA DE COMPACTACION:

4.3.1. “PROCTOR ESTÁNDAR”.

- Molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4” de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ “de altura y de 4” de diámetro interior.
- Pisón metálico (martillo Proctor) de 5.5 lb. de peso (2.5 Kg) de 5 cm (2”) de diámetro.
- Guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
- Regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
- Balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr. de sensibilidad.
- Balanza de 500 gr., de capacidad y de 0.01 gr., de sensibilidad.
- Horno que mantenga una temperatura constante entre 100–110° C.
- Charolas metálicas.
- Probetas graduadas de 500 cm³.
- Extractor de muestras.
- Tara para determinar humedad.

4.3.2. Especificaciones para el ensaye.

Tabla No. 12. Proctor Estándar

(Basadas en la norma 698-91 de la ASTM)METODO	Peso de Muestra
A	3 Kg.
B	7 Kg.
C	5 Kg.
D	12 Kg.

Método utilizado. Método proctor estándar.

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso del martillo o pisón (Kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Altura de caída del martillo (cm)	30.48	30.48	30.48	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de capas de compactación	3	3	3	3
Energía de compactación (Kg-cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03
Suelo por usarse Pasa por	100% tamiz No.4	100% tamiz 3/8"	El 20% retiene No.4	Pasa 100 tamiz 3/4"

4.3.3. PROCEDIMIENTO.

La muestra de suelo a utilizar es tamizada por la malla No.4 y es puesta al aire,

- 1) se toman aproximadamente 3 kg de suelo seco y otra muestra de 500 gr, a la muestra de los 500 gr se le agrega agua medida poco a poco, hasta observar cierta cohesión al presionarla con el puño de la mano.

Fotos No. 27, 28, 29, 30. Procedimiento utilizado por método proctor estándar.



Procedimiento utilizado por método proctor estándar ASTM D 698.

2) El agua necesaria para llevar los 500 gr al estado antes mencionado se relaciona primero por una regla de tres y con el peso total del material de 3 kg a usar en la prueba.

500 gr ----- N

X ----- 3000 gr

Donde.... N: cantidad de agua empleada a los **500 gr.**

X: cantidad de agua empleada a los **3000 gr.**

La cantidad X, se divide por tres con el objeto de obtener la cantidad de agua necesaria para los tres primeros puntos de la prueba en los cuales el peso volumétrico húmedo irá aumentando.

Foto 31. Arcilla humedecida



Arcilla húmeda para % de humedad.

3) Después de estos tres puntos será necesario realizar dos o tres puntos más, según sea que el peso volumétrico del cuarto punto sea mayor que el peso volumétrico húmedo obtenido en el punto tres, teniendo de esta manera tres o cuatro puntos en el que el peso volumétrico húmedo disminuye, los cuales son lo suficiente para trazar la curva proctor.

- 4) Determinada la cantidad de agua necesaria a agregar, se vierte el agua con el atomizador o una pacha a toda la muestra del suelo, se homogeniza hasta lograr una humedad igual en todo el material.
- 5) Se coloca el material con el acomodador, se procede a compactarlo con el martillo, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en toda el área.

Foto No. 32. Compactación de espécimen.



- 6) Se vacía nuevamente el material en el cilindro para obtener una segunda capa que agregada la primera da una altura de 10 a 11 cm, compactándola del mismo modo anterior.
- 7) En igual se procede con la tercera capa, procurando que una vez compactado el material, la suficiente este de 1 a 2 cm arriba del ensamble entre el collarín y el cilindro.
- 8) Terminada la compactación se quita el collarín, teniendo cuidado que al hacerlo no se dañe la estructura del suelo compactado, es decir, que no se ocasione ninguna falla en el mismo.

- 9) Se procede a eliminar el material excedente con un enrazado metálico, evitando en lo posible dañar la superficie superior del suelo compactado.
- 10) Se limpia exteriormente el cilindro, pesándose el cilindro más base con el cuello húmedo compactado.

Foto No. 33. Peso del material más el cilindro.



- 11) Se procede a extraer el material compactado con el extractor (gata hidráulica) y finalmente se toma una muestra del suelo de la misma parte central del espécimen compactado para determinar su humedad.

Foto No. 34. Extracción del material del cilindro.



- 12) Se pesa la muestra antes mencionada y se lleva al horno a una temperatura de 110° C durante 24 horas. Se dejan enfriar y se pesa para determinar la humedad de cada punto.

Foto No. 35. Muestras extraídas de los especímenes compactados.



- 13) El material sacado del cilindro se desmenuza y se le agrega agua hasta obtener un contenido de humedad del 4 al 8% mayor al anterior.

Foto. 36. Preparación de muestras.



- 14) Repita los pasos anteriores hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.
- 15) Con el peso húmedo y la humedad se procede a calcular el peso volumétrico de cada punto y se grafica la curva de porcentaje de humedad contra el peso volumétrico seco.

4.3.4. CALCULOS.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$\gamma_h = \frac{W_m}{V_c} = \frac{W_{me} - W_e}{V_c}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + W}$$

Donde:

γ_h	=	Peso volumétrico húmedo.
γ_d	=	Peso volumétrico seco.
W_m	=	Peso de la muestra compactada.
W_e	=	Peso del molde cilíndrico
V_c	=	Volumen del cilindro
W	=	Contenido de humedad al tanto por uno.
W_{me}	=	Peso de muestra compactada + Peso del Cilindro.

También se puede calcular el peso volumétrico de la curva de Saturación (γ_{dz}).

$$\gamma_{dz} = \frac{S_s}{1 + WS_s} \gamma_w$$

Donde:

γ_{dz} = Peso volumétrico del suelo saturado.

Ss. = Peso específico de los sólidos.

γ_w = Peso específico del agua.

Con los datos de pesos volumétricos seco en las ordenadas y contenidos de humedad en las abscisas, se gráfica la curva de compactación y de ahí se obtiene el peso volumétrico máximo (γ_d máx.) y la humedad óptima los cuales corresponden al punto más alto de la curva de compactación.

Esta grafica nos da el peso volumétrico seco máximo del material y la humedad optima del suelo. Los resultados de estas pruebas se muestran a continuación en las siguientes tablas.

4.3.5. CONTENIDO DE AGUA, MUESTRA COMPACTADA.

Tabla No. 13. Datos de muestra para contenido de % de agua

Tara No.	A-19	A-15	A-17	A-03	A-22	A-120
Peso de Tara + Material Húmedo (gr)	194.8	198.4	213.4	197.2	238.6	204.7
Peso de Tara + Material Seco (gr)	184.2	183.6	193.7	174.3	201.9	168.7
Peso de Agua (gr)	10.6	14.8	19.7	22.9	36.7	36
Peso Material Seco	142.1	142.5	146.1	133.1	161	121.7
Contenido de Humedad (%)	7.46	10.38	13.48	17.2	22.79	29.58

Peso del material + Molde (kg)	5688.4	5748.9	5809.8	5952.6	6021.3	5941.8
Peso del Molde (kg)	4327.9	4327.9	4327.9	4327.9	4327.9	4327.9
Peso del material en el Molde (kg)	1360.5	1421	1481.9	1424.7	1693.4	1613.9
Peso Volumétrico Seco (Kg/m3)	1341.15	1363.73	1383.32	1468.49	1460.9	1319.36

Resultados generalizados de contenido de humedad. ASTM D 420-69, AASHTO T 86-70.

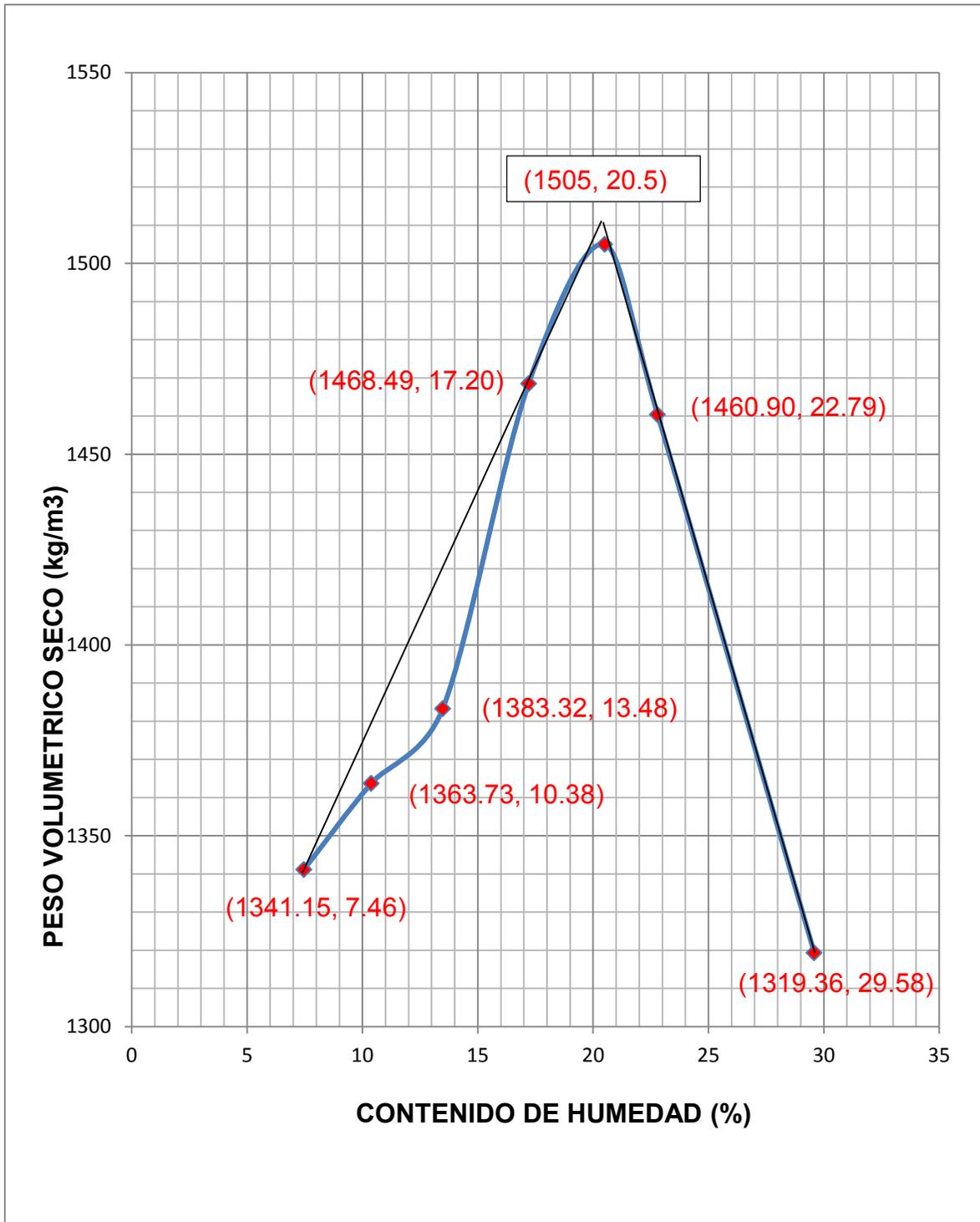
4.3.6. COMPACTACION DE LA MUESTRA.

Tabla No. 14. Peso volumétrico seco vs humedad.

Contenido de Humedad (%)	Peso Volumétrico Seco (kg/m3)
7.46	1341.15
10.38	1363.73
13.48	1383.32
17.2	1468.49
22.79	1460.4
29.58	1319.36

Datos recopilados de las muestras de ensayos.
(Contenido de Humedad vs peso volumétrico).

4.3.7. GRAFICO PESO VOLUMETRICO SECO VS. HUMEDAD.



Grafica para el contenido de humedad de la arcilla.

CAPITULO V

ENSAYES DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (LÍMITES LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO)

(ASTM 423-66, ASTM D 424-59, AASHTO T 89-68, T 90-70)

5.1. GENERALIDADES.

Existen suelos que al ser remodelados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plástica.

Estos suelos han sido llamados Arcillas, originalmente, por los hombres dedicados a la cerámica; la palabra pasó a la Mecánica de Suelos, en épocas más recientes, con idéntico significado. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido de antaño para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

Pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades físico-químicas determinantes del comportamiento mecánico de las Arcillas. En este momento la plasticidad se convirtió en una propiedad ingenieril de interés científico estricto, dejando de ser una cualidad puramente descriptiva.

Al tratar de definir la plasticidad de un suelo, no resulta suficiente decir que un suelo plástico puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esa característica cuando la deformación se produce lentamente y, sin embargo, no es plástica en un sentido más amplio de la palabra; hay entre el comportamiento de la Arcilla y la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la Arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

Foto 37 y 38. Muestras de arcilla y arena.



Arena



Arcilla

En Mecánica de Suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

La plasticidad de un suelo se debe a la película de agua de la que se rodean las partículas de Arcilla y que permite el deslizamiento y rotación de unas partículas sobre otras (teoría de Nichols y Russell) sin producirse roturas de enlace. La propiedad plástica de las Arcillas se puede medir por medio de un criterio establecido por Atterberg; el cual hizo ver, en primer lugar, que la plasticidad no era una propiedad permanente de las Arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

La Arcilla seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semi-liquido o, inclusive, las de una suspensión líquida.

Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la Arcilla se comporta plásticamente. Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos Por Atterberg.

Estado Líquido, con las propiedades y apariencias de una suspensión.

1. Estado Semi-Líquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
2. Estado Plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
3. Estado Semi-Sólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
4. Estado Sólido, en el que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los anteriores estados, son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando y las fronteras entre ambos estados se determinan de una forma puramente convencional.

Estado Solido	Estado Semi-solido	Estado Plástico	Estado Semi-Liquido	Estado Liquido
$\omega = 0\%$	LC	LP	LL	$\omega = \infty$

Esquema relativo de los límites de contracción (LC), Limite Plástico (LP), Limite Liquido (LL) Sobre la escala del contenido de humedad.

5.2. Los límites de Atterberg o límites de consistencia.

Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro (4) estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco.

Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

5.2.1. Líquido Límite: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

5.2.2. Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

5.2.3. Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

5.3. Límite de Contracción:

El método original de Atterberg para la determinación del Límite de Contracción de un suelo consistía en la realización de mediciones frecuentes de la longitud y peso de un mismo prisma, sujeto a secado, hasta que ya no se observa ninguna disminución de su longitud.

Terzaghi sugirió un método más simple de determinación, que esencialmente, consiste en medir el peso y el volumen de una muestra de suelo totalmente seca; en tal momento puede decirse que el Límite de Contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus vacíos llenos de agua.

La Public Road Administration, de los Estados Unidos de Norteamérica, ha desarrollado otro método para la determinación de los Límites de Contracción de los suelos, en el cual no se requiere contar con la gravedad específica de los sólidos. Según este procedimiento, el suelo se remoldea hasta una consistencia cercana al Límite Líquido o ligeramente mayor añadiendo agua si es preciso; con este suelo se llena una capsula de volumen conocido.

La superficie del suelo se alisa perfectamente con una espátula y se protege con una placa de vidrio; pesada la muestra húmeda, se seca en un horno, hasta obtener peso constante, que se anota. El volumen de la muestra seca se determina por medio del método del mercurio (basado en el principio de Arquímedes). Este procedimiento determina las variables necesarias para determinar el Límite de Contracción por medio de la siguiente ecuación.

$$LC = \omega_i - \left\{ \frac{(V_h - V_s)}{W_s} \right\} \times 100$$

Donde:

LC = Limite de contracción, %.

ω_i = Contenido de humedad inicial del suelo, %.

V_h = Volumen del suelo húmedo, cm^3 .

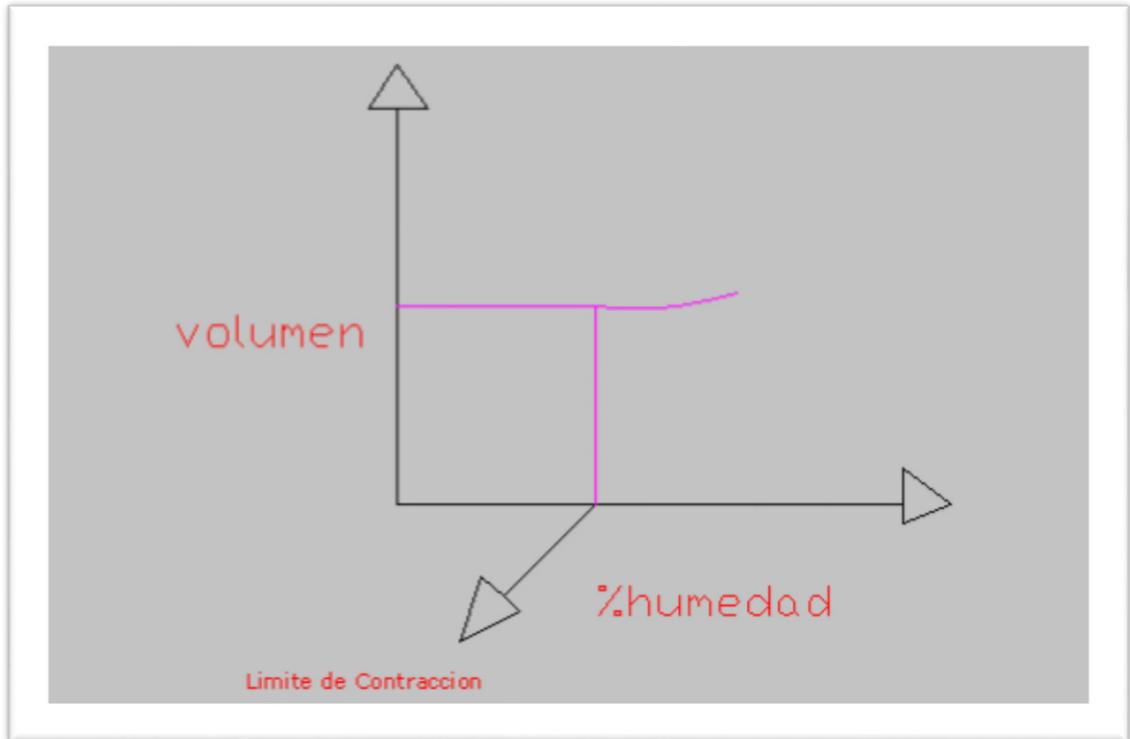
V_s = Peso seco de la muestra, en gr.

W_s = Peso seco de la muestra, gr.

El método de la Public Road Administration, es el más utilizado en los laboratorios de mecánica de suelos, debido a que, no está en dependencia del resultado de ningún otro ensayo de laboratorio.

El límite de contracción se explica cuando al perder agua una Arcilla saturada, el volumen de ella disminuye en una cantidad proporcional al volumen de agua perdida. A partir de cierto punto durante el estado de desecación el aire comienza a entrar en el suelo y el volumen del suelo decrece menos que el del agua perdida.

Cuando el suelo está muy seco los cambios en la humedad solo ocasionan ligerísimos cambios de volumen. Aunque esta transición es gradual se puede deducir un límite teórico por debajo de cual las disminuciones de humedad no originan disminuciones de volumen.



Grafica para ilustrar la obtención del Límite de Contracción.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Si la humedad inicial de un suelo corresponde a un índice de Liquidez igual a 0.2 o más, el suelo, aun siendo altamente plástico, tendrá poca o nula expansión.

Una relación aproximada entre el Índice de Liquidez y la Sensibilidad de las Arcillas pueden obtenerse de la tabla siguiente.

TABLA No. 15. Relación entre el Índice de Liquidez y la Sensibilidad.

Índice de Liquidez	Sensibilidad
0.00	1.0
0.20	1.0
0.40	2.0
0.70	4.0
0.80	5.0
0.85	6.0
0.90	7.0
0.95	8.0
1.00	9.0
1.05	10.0
1.30	20.0
1.50	45.0
2.00	200.0

AASHTO T 89-68, T 90-70. ASTM 423-66 (LI), D 424-59 (Lp).

5.4. FUNDAMENTO TEÓRICO:

Por consistencia se entiende el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura. Los 5 límites propuestos por A. Atterberg. Un científico sueco dedicado a la agricultura es:

5.4.1 Límite de cohesión.

Es la cantidad de humedad por el cual las boronas de un suelo son capaces de pegarse unas a otras.

5.4.2 Límite de pegajosidad.

Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse en la superficie metálica tales como la cuchilla y la espátula.

5.4.3 Límite de contracción.

Es el conjunto de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

5.4.4 Límite plástico

Es el contenido de humedad considerar el suelo como material no plástico.

5.4.5 Límite líquido.

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

5.4.6 Límite de saturación.

Es el contenido de humedad que el suelo tiene todo el volumen lleno de ag Sin embargo para nuestro estudio solo consideramos los cuatro últimos porque son ampliamente utilizados.

CAPITULO VI

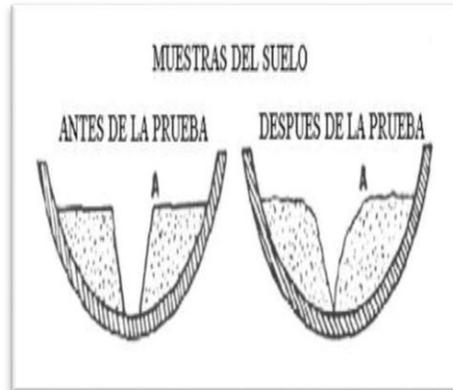
DETERMINACION ACTUAL DEL LÍMITE LÍQUIDO.

(ASTM D 4318, AASHTO T 89-90, AASHTO T 90-87).

6.1 Método Casagrande.

Se adoptó que el Limite Líquido se definiera como el contenido de humedad el cual una masa de suelo humedad colocada en un recipiente en forma de capsula de bronce (copa casa grande, ver Foto No. 36.) separada en dos por la acción de un ranurador patrón, y dejada caer desde una altura libre de 1 cm, sufra después de dejarla caer 25 veces un cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm.

Foto No. 39 Aparato de casa grande.



Ranuración, ASTM D 4318.

REFERENCIAS

AASHTO T 89-90. 89-68, 90-70

AASHTO T 90-87.

ASTM 423-66 (Limite Líquido).

ASTM (1960) artos. Sobre suelos; simposios sobre los límites de atterberg, publicación técnica especial (STP) No. 254, pp 159-226.

Casagrande, A. (1932) investigación sobre los límites de atterberg de los suelos.

6.2. Determinación del Límite Líquido

6.2.1. Propiedades de los minerales de la arcilla.

En general, cuanto mayor es la cantidad de minerales arcillosos en el suelo, mayor es la plasticidad, así como la compresibilidad y la cohesión, mientras que la permeabilidad y el ángulo de fricción interno disminuyen.

El comportamiento de las partículas de arcilla está fuertemente influido por las fuerzas de superficie, ya que al tratarse de granos muy finos la superficie específica (S_e) alcanza valores de consideración y las fuerzas electrostáticas desarrolladas en la superficie cobran relevancia.

El agua es fuertemente atraída por la superficie de los minerales de arcilla dando como resultado la plasticidad, mientras que en las partículas no arcillosas la superficie específica es mucho menor y hay menor afinidad con el agua, con lo cual no se desarrolla una plasticidad significativa.

Es el contenido de humedad para el cual el suelo pasa del estado líquido al plástico. El ensayo que permite determinar el Límite Líquido consiste en colocar diferentes muestras de suelo, con humedad variable, en un recipiente o taza metálica accionada por medio de una manivela, que la levanta y deja caer bruscamente repetidas veces, sobre una base de madera dura, como muestra la figura. Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido.

Foto No. 40. El ensayo que permite determinar el Límite Líquido

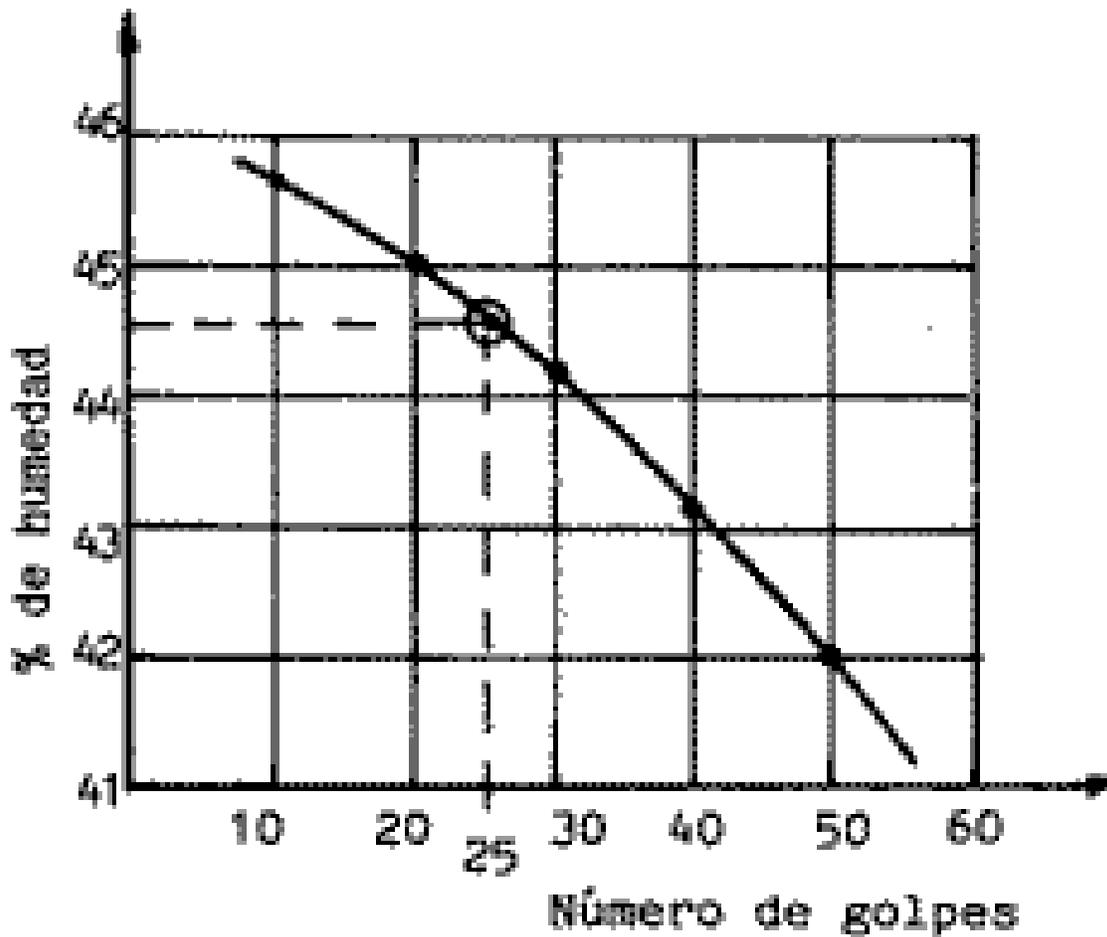


Muestra de arcilla ranurada.

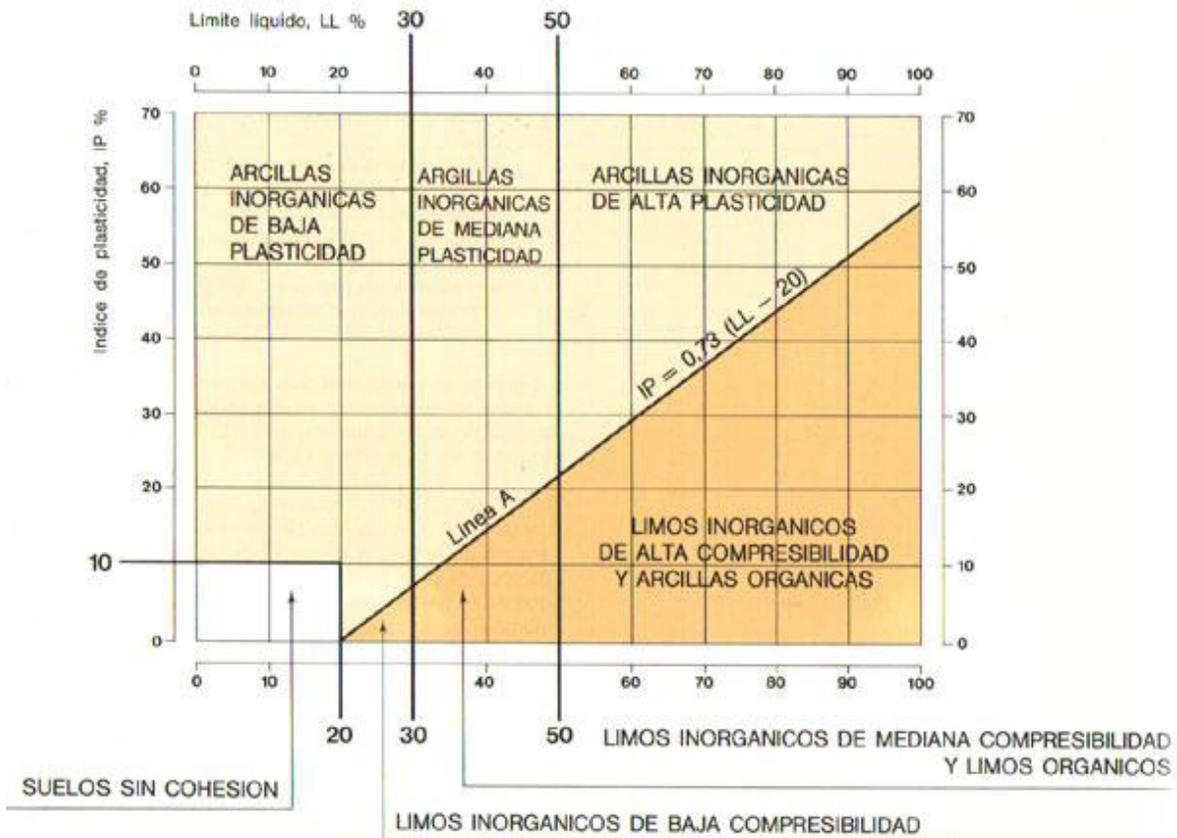
Antes de iniciar cada ensayo, en la muestra de suelo se hace una ranura de determinadas dimensiones con una espátula de goma y se cuenta el número necesario de golpes para que la abertura cierre 1/2".

Los datos se grafican en cada caso y cuando la curva obtenida corta la línea correspondiente, a los 25 golpes se considera este valor como el límite líquido del Suelo.

Se traza una gráfica con el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el Límite Líquido.



Gráfica logarítmica, LI.



Grafica de límites logarítmica. AASHTO T89-68, ASTM D423-66, ASTM D-4318, AASHTO T-90.

Para construir la curva de fluidez sin salirse del intervalo en que puede considerarse recta, Arthur Casagrande recomienda registrar valores de humedad entre los 6 a 35 golpes.

Para consistencia correspondiente a menos de 6 golpes se hace ya muy difícil discernir el momento del cierre de la ranura y si esta se cierra con más de 35 golpes la duración de la prueba causa excesiva evaporación.

6.3. DETERMINACION DE LÍMITES

ARCILLA

(ASTM D 4318, AASHTO T 89-90, AASHTO T 90-87).

6.3.1. Introducción.

La humanidad descubrió las útiles propiedades de la arcilla en tiempos prehistóricos, y los recipientes más antiguos descubiertos son las vasijas elaboradas con arcilla. También se utilizó, desde la prehistoria, para construir edificaciones de tapial, adobe y posteriormente ladrillo; elemento de construcción cuyo uso aún perdura.

La arcilla fue utilizada en la antigüedad también como soporte de escritura. Miles de años antes de Cristo, por cuenta de los sumerios en la región mesopotámica, la escritura cuneiforme fue inscrita en tablillas de arcilla.

El límite líquido (LI) del suelo se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Baja plasticidad $LI < 35\%$ plasticidad intermedia $LI 35 - 50\%$ alta plasticidad $LI = 50, 70\%$ plasticidad muy alta $LI = 70, 90\%$ plasticidad extremadamente alta $LI > 90\%$ la plasticidad es la propiedad que presentan los suelos en poder deformarse hasta cierto límite sin romperse.

El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación.

Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo.

Casagrande desarrolló un dispositivo normalizado como se muestra en la norma UNE 103-103-94. El límite líquido, como ya se ha comentado anteriormente, se estableció como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo.

La altura de caída, como las dimensiones del cascador y las dimensiones de la ranura, como el material de la base, etc., son factores de influencia en los resultados obtenidos.

Para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo desarrollado por Casagrande, se puede decir que para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento.

La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 2,2 kpa.

Se adoptó que el Límite Líquido se definiera como el contenido de humedad el cual una masa de suelo humedad colocada en un recipiente en forma de capsula de bronce (copa casa grande) separada en dos por la acción de un ranurador patrón, y dejada caer desde una altura libre de 1 cm, sufra después de dejarla caer 25 veces un cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm.

Aparte del método expuesto en la norma también existe otro método aproximado consistente en utilizar un solo punto y, por tanto, sólo requiere un solo ensayo de golpeo. Por dicho punto se traza una paralela a la recta de pendiente -0,117 hasta cortar a la ordenada correspondiente a los 25 golpes.

6.3.2. Generalidades

Es el contenido de humedad para el cual el suelo pasa del estado líquido al plástico. El ensayo que permite determinar el Limite Líquido consiste en colocar diferentes muestras de suelo, con humedad variable, en un recipiente o taza metálica accionada por medio de una manivela, que la levanta y deja caer bruscamente repetidas veces, sobre una base de madera dura.

Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido.

6.3.3. Equipos.

- Aparato de Arthur Casagrande
- Ranurador trapezoidal tipo A.S.T.M
- Capsula de porcelana
- Espátula de porcelana
- Espátula flexible mediana
- Botella de plástico de blando bureta
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno con temperatura controlada de 100 a 110 °c
- Taras.

6.4. Determinación de Limite Líquido.

ARCILLA.

(ASTM D 4318, AASHTO T 89-90, AASHTO T 90-87).

6.4.1. PRUEBAS Y RESULTADO.
(MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40).

6.4.1.1. LIMITE LÍQUIDO DE LA ARCILLA.

6.4.1.1.1 Interpretación de laboratorio

6.4.1.1.2. Procedimientos.

Del material que paso la malla no. 4 se tomó una porción y se procedió a tamizarse por la malla no. 40, hasta obtener cierta cantidad de arcilla (100gr).

Foto No. 41 y 42. Lo que pasa tamiz No. 40



A.S.T.M.D 423

Ya humedecido el material se coloca en una taza de porcelana hasta obtener una pasta homogénea.

Se colocó la muestra húmeda en la copa de porcelana por medio de una espátula, llenándola aproximadamente a un tercio de su capacidad total.

Foto No. 43. Arcilla humedecida



Muestra húmeda que paso la malla No.40.

Se colocó la punta del ranurador en la parte superior central de la muestra y perpendicular a la superficie de la copa, se hace una ranura en el centro de la muestra procurando que el ranurador permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa del aparato de Casagrande.

Se da vuelta uniformemente a la manecilla de la copa a razón de dos (2) golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que se cierre el fondo de la ranura a una distancia de 2 cm.

Foto No. 44 y 45. Arcilla ranurada método de copa casa grande.



Ranurador en parte superior central

Se toma la muestra del centro de la copa y se deposita en una tara marcada o etiquetada pesándola en la balanza.

Foto No. 46. Muestras humedecidas y extraídas para límite líquido.



Este proceso se realiza hasta que el número de golpes sobrepase los 25 golpes.

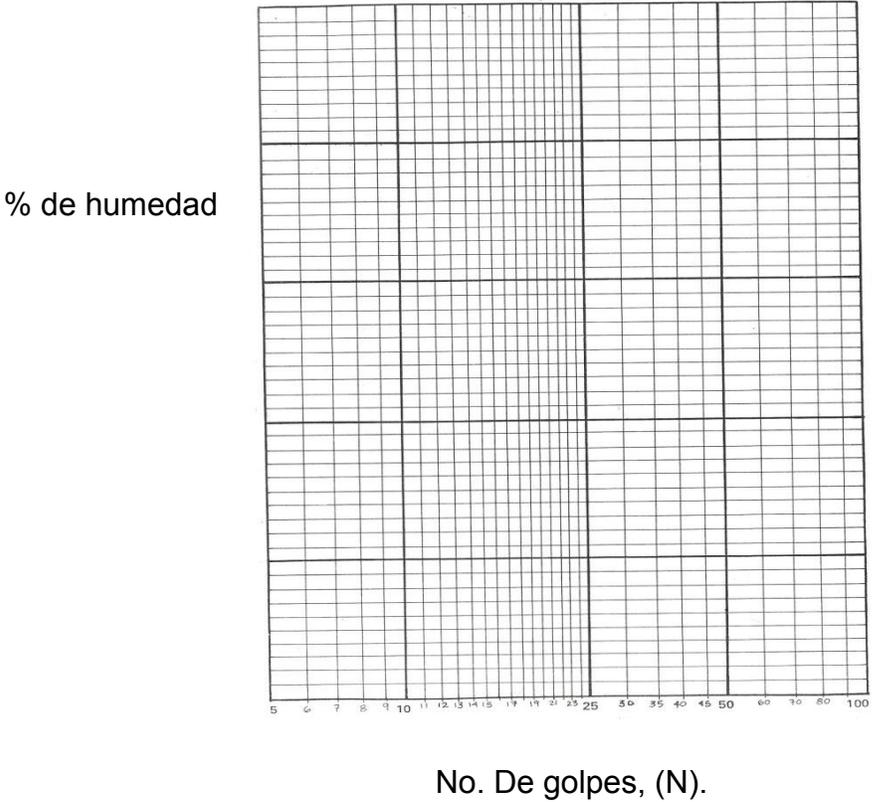
Las taras que contienen las muestras se introducen al horno a una temperatura constante de 110°C por un periodo de 24 horas, una vez secas las muestras se pesaran anotando sus datos y pesos como se observa en la tabla de resultados de esta prueba.

Foto No. 47. Muestras secas para limite líquido.



Muestras al horno, 24 horas.

Luego se calcula el porcentaje (%) de humedad correspondiente a cada golpe, una vez hecho los cálculos se construye la gráfica en papel semilogaritmico como se muestra a continuación, en que las abscisas correspondientes al número de golpes y las ordenadas al porcentaje de humedad.



Gráfica semilogaritmico para determinación de Límites.

6.4.1.1.3 Pruebas de laboratorio, Limite líquido.

**6.4.1.1.3.1 Muestras de resultados extraídas de:
San Isidro, Sebaco. Matagalpa.**

(Arcilla 100gr).

Tabla No. 16. Datos de muestras obtenidas en laboratorio.

Números de golpes (N)	14	21	33
Tara No.	A-38	B-06	B-03
PW + Tara: (1)	35.6 gr	33.1 gr	31.5 gr
PS + Tara: (2)	32.1	29.7	27.2
Agua = (1) / (2) = (3)	3.5	3.9	4.3
Peso de Tara: (4)	21.7	17.2	13.9
PS = (2) - (4) = (5)	10.4	12	13.3
% de agua = (100)x(3)/(5)= (6)	33.65%	32.5%	32.33%

A.S.T.M.D 423

Tabla No. 17. Resultados

No. De golpes	% de humedad
14	33.65%
21	32.50%
33	32.33%

Resultados generalizados LI.

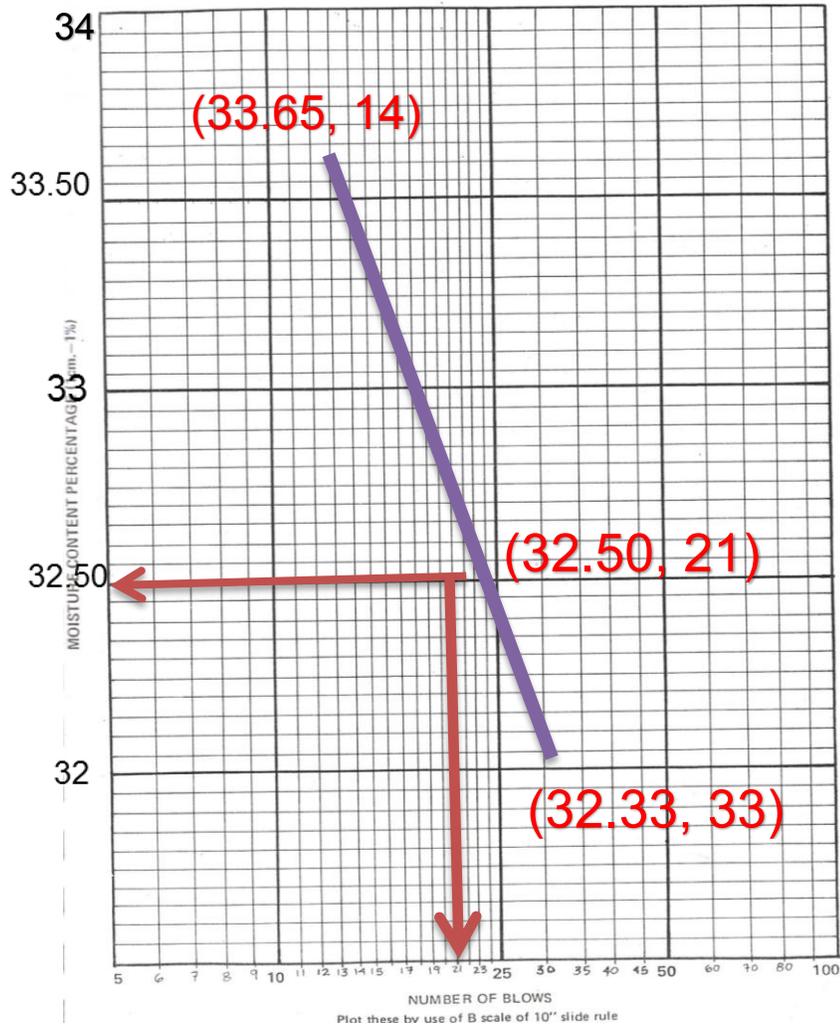
Referencias

En la determinación de los límites de líquidos se tomó como referencia las siguientes normas y los libros mencionados posteriormente:

- A.A.S.H.T.O.T 89
- Bowles, Joseph, Manual de Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil, (1981),
- Segunda Edición, Editorial McGraw-Hill.

6.4.1.1.3.2. Gráfico de Limite Líquido de la Arcilla

Tabla No. 18. Limite líquido de la arcilla.



Gráfica

% humedad, Limite líquido de la Arcilla.

6.5. Determinación de Limite Plástico.

ARCILLA.

AASHTO T 89-68

6.5.1. Introducción.

Las arcillas son eminentemente plásticas. 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.

La arcilla es químicamente similar a la arena: contiene, además de dióxido de silicio, óxidos de aluminio y agua. Su granulometría es mucho más fina, y cuando está húmeda es de consistencia plástica. La arcilla mezclada con polvo y otros elementos del propio suelo forma el barro, material que se utiliza de diversas formas:

- Barro, compactado "in situ" produce tapial.
- Cob, mezcla de barro, arena y paja que se aplica a mano para construir muros.
- Adobe, ladrillos de barro, o barro y paja, secados al sol.

La plasticidad es una propiedad característica de los suelos finos, donde el contenido de humedad del suelo está comprendido entre el límite líquido y plástico.

En este estado el suelo permite ser moldeado de manera similar a la masa o la plastilina, debido a que el contenido de humedad del suelo contiene la cantidad ideal de moléculas de agua para que la fuerza de atracción entre las partículas compuestas de minerales de arcilla sea la mayor.

Cambio de volumen en el suelo: los suelos arcillosos especialmente los muy plásticos, se atraen mucho cuando se secan y se expanden cuando se humedecen.

6.5.2. Generalidades.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción o de retracción y se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca. Se trata de la humedad máxima de un suelo para la cual una pérdida de humedad no causa disminución de volumen de suelo.

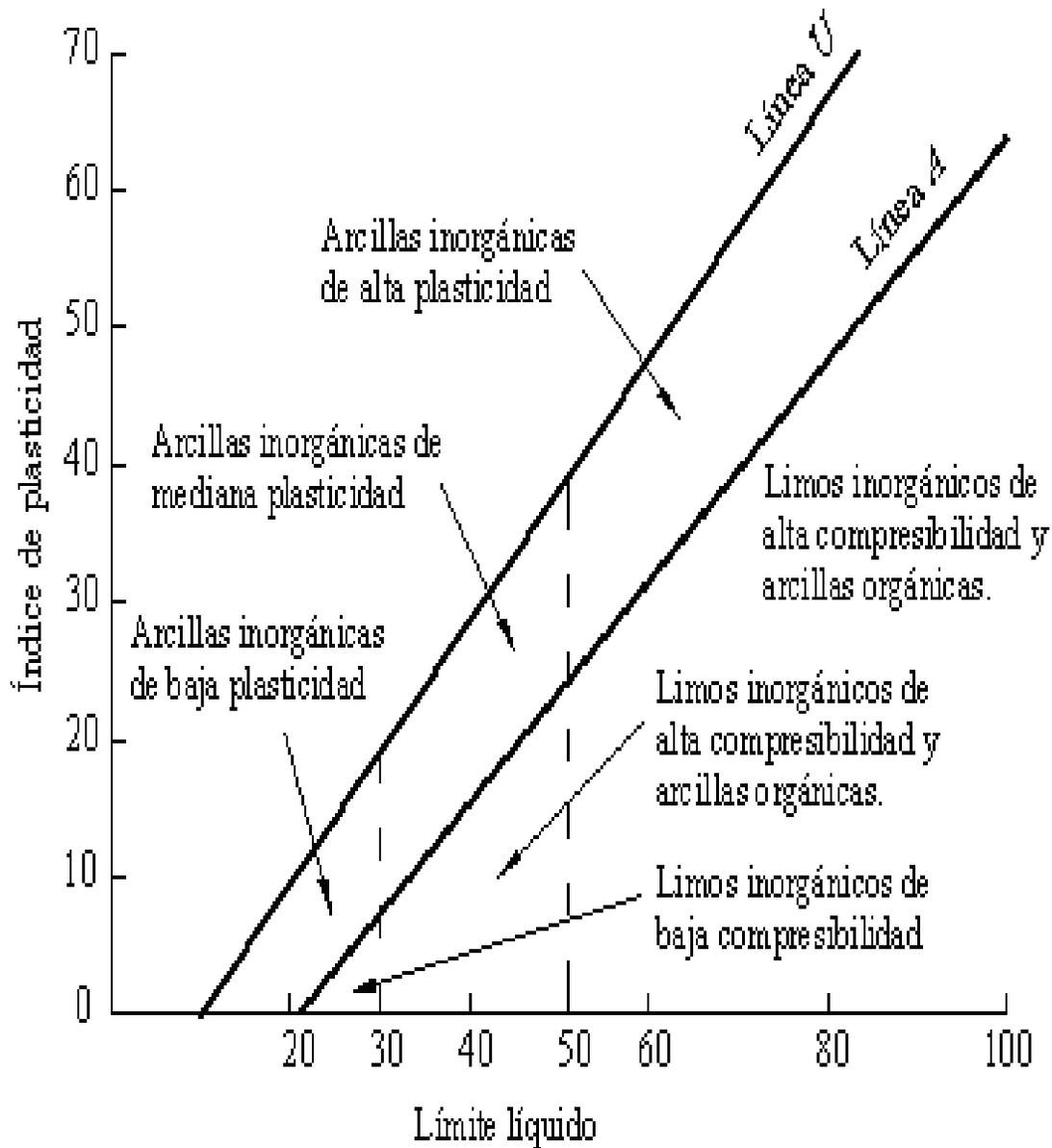
La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro.

A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura de 13 mm de longitud mediante un aparato normalizado.

Casagrande (1932) estudió la relación que existe entre el índice de plasticidad y el límite líquido para una gran variedad de suelos y construyó el *gráfico de plasticidad*, las distintas variedades de suelos se agrupan ordenadamente en diversos sectores del gráfico.

Empíricamente obtuvo las ecuaciones de las líneas que dividen el gráfico en las regiones donde se agrupan los tipos de suelo. Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (IP), representaba una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo.

Luego sugirió que estos dos límites sirvieran de base en la clasificación de los suelos plásticos. Acorde al valor del índice de plasticidad, distinguió los siguientes materiales. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.



Gráfica de Límites. (Casagrande, 1932).

La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos, las arcillas inorgánicas se encuentran por encima de esta línea y los limos inorgánicos por debajo de esta. Los limos orgánicos están situados por debajo de esta línea en el intervalo de 30 a 50 del límite líquido, las arcillas orgánicas se ubican por debajo de esta línea con un límite líquido mayor a 50.

La ecuación de la línea A es:

$$IP = 0.73 (LL - 20)$$

La línea *U* se ubica por encima de la línea A, esta línea es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad y el límite líquido para cualquier tipo de suelo conocido, aunque rara vez se ubica un suelo por encima de línea *U*, que tiene la ecuación:

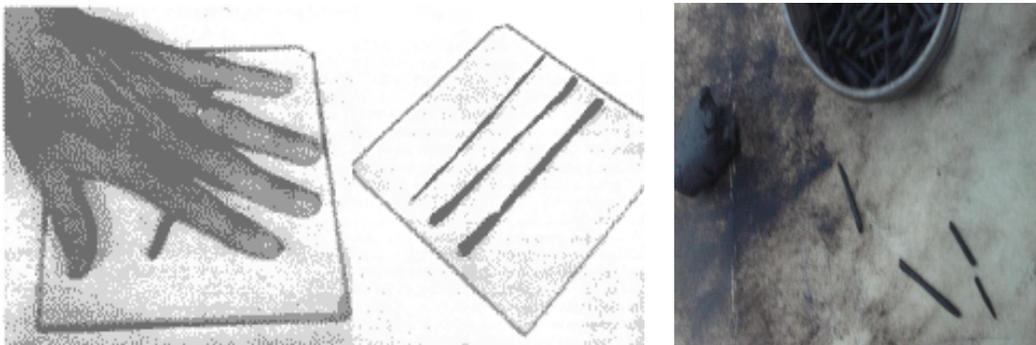
$$IP = 0.9 (LL - 8)$$

La información que provee el gráfico de plasticidad es de gran valor para clasificar los suelos finos y poder identificarlos con facilidad.

Esta información se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm.

Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm.

Foto No. 48. Limite plástico.



Cilindros de 3 mm para Limite Plástico. AASHTO T 89-68

Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento.

Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

6.5.3. DETERMINACIÓN DE LIMITE PLASTICO (L.P.)

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. De diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

6.5.3.1. Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. 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 Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al., 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio.

En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

6.5.4. PRUEBAS Y RESULTADO.

(MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 40).

6.5.4.1. ARCILLA.

6.5.4.1.1. Interpretación de laboratorio.

6.5.4.1.2. EQUIPO.

- ✓ Vidrio esmerilado o papel absorbente.
- ✓ Taras
- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- ✓ Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.

6.5.4.1.3. PROCEDIMIENTO.

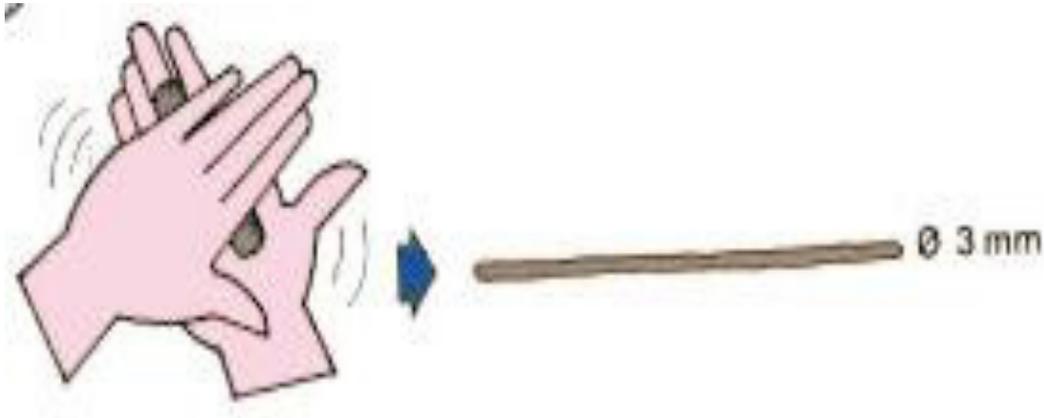
1. Se toma aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad optima, amáselo con la mano y ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o un vidrio hasta formar un cilindro de 3 mm, de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.

Foto No. 49. Muestra para límite plástico.



Arcilla amasada, muestra extraída del LI.

2. Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.
3. El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3mm de diámetro.



4. Inmediatamente se divide en porciones y se ponen los pedazos en dos taras.



5. Se pesan en la balanza de 0.01 gr., y se registra su peso.

Foto No. 50. Peso de porciones extraídas.



Balanza de 0.01 gr.

6. Se introduce la muestra en el horno por un período aproximado de 24 horas y se determina su peso seco.

Foto No. 51. Porciones secados en horno.



Secado por 24 horas.

7. Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los 2 % no es mayor que 2% se promedian y en caso contrario se repite el ensaye.
8. El promedio es el valor en porcentaje del Límite Plástico.

REFERENCIAS

- AASHTO T 89-68
- AASHTO T 424-66 Arto. Sobre suelos, simposios sobre los límites de Atterberg. Publicación técnica especial No. 254, pp. 159-226.
- Casagrande, A. 1932, Investigación sobre los Límites de Atterberg de los suelos, Public Roads, vol. 13, No.8, octubre, pp 121-136.

6.5.4.1.4. TABLAS DE RESULTADOS DEL LIMITE PLASTICO.

San Isidro, Sebaco. Matagalpa.

(Arcilla 100gr).

Tabla No.18. Datos.

Tara No.	A-42	B-09
PW + Tara: (8)	46.1	47.8
PS + Tara: (9)	41.8	41.7
Agua = (8) / (9) = (10)	35.7	35.8
Peso de Tara: (11)	21.6	13.7
PS = (9) - (11) = (12)	20.11	28.7
Limite Plástico = (100)x(10) / (12) =	21.28	21.78

Tabla de resultados, Lp para la Arcilla.

6.5.4.1.5. TABLA DE RESULTADOS GENERALIZADOS.

Tabla No. 19. Datos

LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE PLASTICO (%)
32.02	21.53	10.49

Resultados generalizados Lp para la Arcilla.

<i>IP</i>	<i>Descripción</i>
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15-30	Baja plasticidad
> 30	Alta plasticidad

Grado de plasticidad del suelo (Sowers, 1979).

CAPITULO VII

**PRUEBA A COMPRESION AXIAL EN:
ARCILLA CON CASCARILLA DE ARROZ,
CAL, CEMENTO Y ARENA.**

7.1. INTRODUCCION.

Todo suelo exento de materia orgánica, puede ser usado para ser estabilizado. Debe estar formado por una mezcla de arena, limos, cal y cemento; estos dos últimos en proporción tal que de cohesión suficiente a la mezcla y buena composición, sin que se originen contracciones perjudiciales.

Para conocer los distintos porcentajes de los constituyentes básicos del suelo se recurre al análisis mecánico del mismo. Este análisis determina la cantidad de partículas entre dos valores límites.

Esa cantidad se expresa en porcentaje del peso total del material considerado.

Tabla No. 20. Análisis de partículas entre valores de los límites.

ARENA			LIMO			ARCILLA		
Gruesa	Mediana	Fina	Grueso	Mediano	Fino	Gruesa	Mediana	Gina (coloides)
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002

Sistema de Clasificación de Suelos del M.I.T (Massachusetts Institute of Technology).

El Tamaño de las partículas en mm de los cuales se hallan los suelos más aptos: Arena: entre 40 y 85% y la suma de Arcilla y Limo entre 15 y 60 %, con lo que se llega a la conclusión que la tolerancia de proporciones es bastante amplia.

Tabla No. 21. Fracciones recomendadas para elaborar suelo-cemento.

Criterio	Composición porcentual		
	Arena	Arcilla	Limo
ICPA	70 a 85	5 a 10	10 a 20
HOUBEN	40 a 70	20 a 30	0 a 30
CINVA	45 a 80	Suma:	20 a 55
MERRIL	Más de 50	Suma:	menor de 50

Sistema de Clasificación de Suelos del M.I.T (Massachusetts Institute of Technology).

El estudio granulométrico de un suelo no basta para definir su aptitud para ser usado como suelo-cemento. Muchos suelos tienen características granulométricas similares y su comportamiento tecnológico es distinto.

7.2. GENERALIDADES.

Las mezclas de suelo cemento, cal pueden presentar diversos tipos de características dadas por su composición mineralógicas y químicas. Las cuales se representan según su tipo de mezcál con el adobe y la cascarilla de arroz.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorios para distintos espécimen se utilizaron cilindros metálicos para la compactación del material mezclado para los ensayos de durabilidad (mojado y secado) y resistencia a la compresión mediante los procedimientos estándar.

Una sola vez encontradas su peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para cada espécimen de mezcla se procedió a graficar su porcentaje vs peso volumétrico seco máximo óptimo de todos sus porcentajes.

En sus gráficas se observara que el punto máximo óptimo dicha curva corresponde a los 21kg/cm^2 esto quiere decir que estas pruebas se realizaron cumpliendo con los reglamentos necesarios para su elaboración.

Se elaboraron los especímenes para los diferentes ensayos teniendo en cuenta la misma compactación y humedad óptima del ensayo proctor estándar. Por lo que, el peso específico de cada espécimen deberá ser aproximadamente el máximo peso específico obtenido en dicho ensayo.

Con el adobe, la cascarilla de arroz, cal, cemento y la arena se hicieron distintos valores de mezclas con un porcentaje del 97.5%, 95%, 92.5%, 90%, 87.5% y 85%, con 2.5% al 15% como patrones y de 5%, 7%, 9% y 11% de humedad se tomaron 1151 ml de agua para cada mezcla.

7.3. El agua.

La cantidad de agua que se utiliza es un factor fundamental. La falta o exceso de agua exige un mayor trabajo en la compactación, dificultando la cohesión de los componentes de la mezcla. También afecta la resistencia y durabilidad del material. Cada tipo de suelo requiere un grado de humedad determinado para su correcta compactación. Se utiliza agua potable o agua libre de impurezas.

Tabla No. 22. Composición porcentual de Arena y arcilla de los Suelos Naturales.

Suelos	% Arena	% Arcilla
Suelo Natural A	9,4	21,5
Suelo Natural B	52,5	22,5
Suelo Natural C	48,0	24,0

Sistema de Clasificación de Suelos del M.I.T (Massachusetts Institute of Technology).

Para ajustar las condiciones de los suelos disponibles a los que se consideran como óptimos para ser estabilizados se modifica la granulometría del Suelo A y C. Se incorporan distintos porcentajes de arena.

El Suelo B se puede utilizar en su estado natural sin incorporarle arena, debido a que el porcentaje de la misma supera el 50%.

Cuando se cuenta con el suelo en condiciones de ser empleado, se le incorpora el cemento, cal y arena para obtener el material con el que se elaboran los componentes modulares. Se trabaja con 5%, 7%, 9% y 11% cemento, cal y arena para la arcilla en su estudio. Mediante un sencillo ensayo de campo, se determina prácticamente la humedad óptima de la mezcla.

7.4. PROCEDIMIENTOS Y PRUEBAS.

7.4.1. Elaboración de los especímenes de dosificación de la arcilla, cascarilla de arroz, arena, cal y cemento.

Las pruebas realizadas en laboratorio de suelos de la universidad nacional de ingeniería del recinto universitario Pedro Arauz Palacios son los siguientes agregados y aglomerantes se presenta en la siguiente manera de porciones y gráficos de los resultados obtenidos en los estudios realizados:

Los patrones de base sobre las mezclas, se definen de la siguiente de manera que:

- Arcilla 97.5%, 95%, 92.5%, 90%, 87.5% y 85%.
- Cascarilla de arroz 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%.

Los aglomerantes y agregados mezclando estos con los patrones se definen de la siguiente manera:

- Cemento 5%, 7%, 9% y 11%.
- Cal 5%, 7%, 9% y 11%.
- Arena 5%, 7%, 9% y 11%.

Con la cantidad de agua requerida para cada uno de los moldes realizados y mezclas se necesitó por cada una de las mezclas 1151ml de agua limpia.

De los cuales los resultados de las pruebas adquiridas con la resistencia buscada fueron las siguientes mezclas requeridas con un gran éxito obtenido (seleccionadas en negrillas), (ver tablas en de todas las pruebas en los anexos página. 240).

- **ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA.**
- **ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y ARENA.**
- **ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y CAL.**
- **ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, ARENA.**
- ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL.
- ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO.
- ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, ARENA.

Los siguientes ensayos son los puntos encontrados que se muestran a continuación con las tablas o valores obtenidos para cada mezcla. (ver siguiente tablas).

7.4.2. Tabla No. 23. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.

Arcilla 97.5 %	Cascara de arroz 2.5 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95 %	Cascara de arroz 5 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.5 %	Cascara de arroz 7.5 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90 %	Cascara de arroz 10 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.5 %	Cascara de arroz 12.5 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85 %	Cascara de arroz 15 %	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

7.4.3. Tabla No. 24. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, ARENA.

Arcilla 97.5 %	Cascara de arroz 2.5 %	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95 %	Cascara de arroz 5 %	%	Cemento kg	Arena kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.5 %	Cascara de arroz 7.5 %	%	Cemento kg	Arena kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90 %	Cascara de arroz 10 %	%	Cemento kg	Arena kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.5 %	Cascara de arroz 12.5 %	%	Cemento kg	Arena kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85 %	Cascara de arroz 15 %	%	Cemento kg	Arena kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

7.4.4. Tabla No. 25. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, CAL.

Arcilla 97.5 %	Cascara de arroz 2.5 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95 %	Cascara de arroz 5 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.5 %	Cascara de arroz 7.5 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90 %	Cascara de arroz 10 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.5 %	Cascara de arroz 12.5 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85 %	Cascara de arroz 15 %	%	Cemento kg	Cal kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

7.4.5. Tabla No. 26. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, ARENA.

Arcilla 97.5 %	Cascara de arroz 2.5 %	%	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95 %	Cascara de arroz 5 %	%	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.5 %	Cascara de arroz 7.5 %	%	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90 %	Cascara de arroz 10 %	%	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.5 %	Cascara de arroz 12.5 %	%	Cal Kg	Arena kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85 %	Cascara de arroz 15 %	%	Cal Kg	Arena kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

NOTA:

Los otros porcentajes de mezclas de los ensayos verlos en los anexos.

7.5. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS.

7.5.1. ADOBE CON CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.

El cemento que se emplea generalmente y en particular en este estudio es el denominado.

La determinación práctica de los porcentajes de cemento y cal en las mezclas utilizadas se realiza experimentalmente variando la proporción del volumen entre un 5%, 7%, 9% y 11%. Usando suelos con un porcentaje de arena como agregado.

Se designa el nombre de suelo-cemento a la mezcla obtenida mediante la combinación de suelos secos formados por arenas, arcillas y limos, los cuales el contenido de arcilla y limos es inferior a 15% más cierto porcentaje de cemento.

La mezcla del suelo (adobe), cal y cemento pueden presentar las siguientes características dada su composición mineralógica y química.

7.5.2. COLOR DE LA MEZCLA.

7.5.2.1 COLOR DEL SUELO (ADOBE) CON ARENA, CAL Y CEMENTO.

El material ya secado tiene el color de un suelo compactado, pudiéndose notar los granos más grandes de la cal como puntos blancos mientras que el cemento oscurece al suelo o adobe.

Foto No. 52 y 53. Diferencia de cambio de color de la mezcla.



Mezcla seca de cal y cemento.



Mezcla húmeda de cal y cemento.

Foto No. 54 y 55. Diferencia de cambio de color de la mezcla.



Mezcla seca de arena y cemento



Mezcla húmeda de arena y cemento

Foto. No. 56 y 57. Diferencia de cambio de color de la mezcla.



Mezcla seca de cemento, cal y arena

Mezcla húmeda de cemento, cal y arena

Hay un cambio significativo de color durante el mezclado de la cal, el cemento y arenas con el adobe y la cascarilla de arroz. Esto adquiere un color más claro en estado seco pudiéndose notar los granos más gruesos de la cal, al agregas agua a la mezcla el adobe (suelo) recupera su color oscuro.

7.5.2.2. CAMBIOS DE COLOR DE LA MEZCLA.

Se producen cambios en la mezcla por causa del mezclado de los materiales. El suelo (adobe) sufre un incremento de su fricción interna, ya que se coagula en ciertas proporciones. Hay una disminución de la plasticidad, al aumentar la fricción interna y por lo tanto es algo ventajoso.

Se debe notar que la cal, el cemento y cascarilla de arroz ejercen una acción rellenante, esto es de particular importancia para determinar la densidad seca de las mezclas, así como en el peso por volumen de la mezcla seca.

7.5.2.3. HIDRATACION

- Estructura.

La mezcla suelo, arena, cal, cemento y cascarilla de arroz está formada por cal hidratada y partículas de suelo y cemento que se adhieren una a otras, a modo de cristalización, siguiendo algo similar a una estructura de cadena y por ende se forman un cuerpo fuerte y resistente.

En este mezclado con arena, el suelo o arcilla cubre a la cal, al cemento y cascarilla de arroz muy diferente a lo que ocurre en el mortero o concreto. Mezclas saturadas por 7 días.

Foto No. 58 y 59. Saturación de espécimen.



Mezcla preparada a Saturar.



Mezcla saturada por 7 días.

7.5.3. RESISTENCIA A LA ABSORCION DE AGUA.

Una mezcla de arcilla con cascarilla de arroz, arena, cal y cemento bien preparada, resulta bien impermeable, pero sería recomendable que no se formen depósitos de agua cerca de la superficie del material estabilizado, el efecto del agua puede evitarse también, mediante una colocación de una capa delgada de mortero para repello.

Foto No. 60. Extracción del espécimen.



Mezcla preparada y compactada.

7.5.4. RESISTENCIA A LA COMPRESION.

La magnitud a la resistencia a la compresión es uno de los criterios importantes a tomar en cuenta para determinar la calidad de la estabilización alcanzada.

Para este estudio y presentación monográfica se requiere una resistencia a la compresión mínima del orden para ser utilizada en la fabricación de ladrillos o bloques de adobe estabilizado con cascarilla de arroz cal, cemento y arena, en estructuras verticales para construcción de vivienda.

Foto No. 61 y 62. Espécimen a ensayar. (AASHTO T 193-63).



Espécimen a ensaye



Espécimen ya ensayado.

7.6. Requerimientos físicos químicos mecánicos de la cal.

El calcio es el elemento primordial en todas las cales y no existe libre en la naturaleza pero si combinado con otros minerales tales como el CaO CaO_4 etc. El proceso de calcinar estos compuestos de calcio llamados calizas, de origen a un material, que comúnmente se le llama cal con propiedades aglutinantes y que puede ser usada en morteros, si en el proceso de calcinación se utilizan calizas puras, se produce una reacción cuya forma estequiometria es:



Donde:

CO_2 = Anhídrido carbónico (**CO_2**), que es un gas que se desprende con los humos de la combustión y óxido de calcio (**CaO**), que es la llamada cal viva que queda como resultado de la combustión. Esta reacción química se produce aproximadamente a temperaturas entre 900°C y 1000°C liberándose en forma gaseosa el CO_2 y quedando solamente un producto de color blanco ya que se cristaliza a los 257°C en el sistema regular, de peso específico entre 3.08 y 3.40, y que se llama cal viva (CaO), que reacciona con el agua en forma exotérmica produciendo el hidróxido de calcio (CaOH) cal apagada o simplemente cal.

Ver la tabla No. 27. Los requerimientos químicos de las cales en Nicaragua.

7.6.1. Tabla No.27. Requerimientos químicos de las cales en Nicaragua.

Lugar	Tipo	Oxido de calcio CaO (%)	Arcilla	Oxido de magnesio Mg (%)	Humedad higroscópica (%)
Sapoa	Inalterada	67.38	6.2	0.17	5.27
Sn Rafael del sur	Inalterada	61.59	15.37	0.15	6.59
Sn Rafael del sur	Inalterada	65.93	10.41	0.13	6.1
Sn Rafael del sur	Alterada	50.21	27.75	0.24	2.38
Sn Rafael del sur	Alterada	49.56	29.24	0.16	6.95
Sn Rafael del sur	Alterada	31.62	49.99	0.1	2.38
Especificaciones ASTM		60.6	4	0.15	1

Composición química de las cales de Nicaragua. (ASTM D 1883-73).

7.6.2. Tabla No, 28. Propiedades mecánicas de las cales de Nicaragua.

Lugar	Tipo	Lb/pulg ² (comp)	Lb/pulg ² (tensión)
Sapoa	Inalterada	117.83	19.44
Sn Rafael del sur	Inalterada	108.25	21.56
Sn Rafael del sur	Inalterada	121.92	15.66
Sn Rafael del sur	Inalterada	102.87	21.71
Sn Rafael del sur	Alterada	107.76	6.67
Sn Rafael del sur	Alterada	128.03	12.77
Sn Rafael del sur	Alterada	77.67	12.34
Especificaciones ASTM		175.67	

Propiedades mecánicas de las cales de Nicaragua.

7.7. Propiedades físicas de la cal con los suelos (adobe).

El método del ensayo se realiza según la norma del ASTM D-558 teniendo en cuenta las siguientes consideraciones, que a medida que el ensayo se realizaba la mezcla del adobe-cal-cemento se iba realizando con cuidado por el grado de humedad de la mezcla iniciándose así las reacciones entre la cal y cemento y el agua agregada.

- **Plasticidad:** Es la propiedad que tienen las pastas de cal, de ser de texturas pegajosas de tal manera que cuando se usa una cuchara de albañilería y se toma una pequeña porción de esta no se cae si la cuchara de albañilería se voltease.
- **Adherencia:** Es la propiedad que tienen las mezclas de adherirse a una superficie vertical sin que se caiga parte de ella.
- **Consistencia:** Es la propiedad que tiene la mezcla de cal de mantener la forma después que un puñado de ella he sido fuertemente compactada.

Con los porcentajes anteriores de mezcla suelo-cal-cemento, se procede a realizar pruebas de proctor estándar de compactación de dichas mezclas de acuerdo con las normativas, con este ensayo se determina la prueba máxima de compresión de cada ensayo y del contenido de humedad del cual se logra tener el máximo peso específico seco y contenido de humedad del diseño de la mezcla.

La mezcla se vuelve más o menos coagulosa y aumenta la su fricción interna, debido a que esto (del contenido de humedad) variaría por la hidratación de la cal y el cemento ya que el peso específico máximo disminuiría mientras que más tiempo se tardara de efectuar el ensaye.

Es por eso que fue necesario realizar el ensayo proctor estándar lo más rápido posible y con cuidado simulando y tomando en cuenta la temperatura ambiente en la que se realizan el estudio de laboratorio.

7.8. ZONAS DE PRODUCCION DE CAL EN NICARAGUA.

Existen dos zonas de producción de cal en Nicaragua:

1. Zona central y norte: Matagalpa, Jinotega y Nueva Segovia.
2. Zona del Pacifico: Managua y Rivas.

7.8.1. Tabla No. 29. Sitios de ubicación de los yacimientos de cal en nuestro país.

DEPARTAMENTOS	SITIOS	CLASES DE CALIZA
Managua	San Cayetano	conchosa
Managua	San Rafael del Sur	conchosa
Rivas	Brito, Sapoá, Salinas	compacta
Nueva Segovia	Ocotal	crystalina
Matagalpa	Darío	Conchosa

Ubicación de yacimientos de piedra caliza en Nicaragua.

La dosificación de la mezcla de suelo-cal de esta monografía se ha basado en pruebas de laboratorios para elaborar viviendas con materiales a buen y bajo costo y además utilización de nuestros recursos naturales de nuestro país, esta experiencia de estos estudios está basada en un amplio trabajo de investigación y laboratorio para obtener suelos estabilizados, mezclando suelos con cantidades relativamente pequeñas de cal, en porcentajes adecuados, lo que conlleva a producir un material resistente y duradero.

Para la selección del contenido de cal en las mezclas se ha tomado en cuenta el peso específico seco máximo que se puede alcanzar con los distintos porcentajes de cal ya mencionados en los cuadros anteriores.

Por eso se ha tomado un porcentaje de cal para cada prueba realizada de 5%, 7%, 9% y 11% así cada vez incrementando su combinación en la mezcla y hallar su peso seco específico máximo así como la humedad óptima en la cual se obtuvieron los datos anteriores ya mencionados.

7.9. ARENAS

Las arenas, es sílice con algunas impurezas, si contiene granos de calcio, no es utilizable como desengrasante en la fabricación de productos cerámicos por presentar muchas desventajas.

Si la arena es cuarzosa presenta problemas a la temperatura de 575°C en el proceso de cocción; temperatura en la cual el cuarzo sufre un aumento de volumen seguido por una contracción brusca, provocando pequeñas grietas a la superficie del producto terminado.

La arcilla cosida o pulverizada es clasificada con un buen desengrasante y se obtiene moliendo los residuos de bloques ladrillos o tejas. De manera general, en Nicaragua se emplean tierras arcillosas o barro que contienen aproximadamente un 20% de arcilla negra, cuando la arcilla o barro es de naturaleza grasa se sugiere mezclarle materiales no plásticos como la arena, con el objetivo de reducir la plasticidad y con ello evitar contracciones y deformaciones al secarse.

De lo anterior ya mencionado puede concluirse que la arcilla debe de emplearse como material de construcción que permita el amasado fácil y que pueda aplanarse, alisarse y rolarse con las manos sin que se adhiera a ellas y sin mostrarse humedad superficialmente.

Las arenas están constituidas por granos sueltos, incoherentes y de estructura cristalina que provienen de la disgregación de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en lugares determinados.

Artificialmente se obtienen por trituración y moliendas de las rocas duras.

- Estas son empleadas para corregir la calidad de la mezcla de suelo, esto es, se añade arena al suelo arcilloso o se añade arcilla al suelo arenoso.
- La mezcla deberá hacerse en seco, de lo contrario no será uniforme.
- La arcilla seca usualmente se encuentra en forma de terrones duros, que tienen que ser bien triturados antes del mezclado.

La estabilización no es una ciencia exacta, por ello depende del constructor hacer bloques de prueba con diferentes tipos y cantidades de estabilizadores, los cuales se pueden ensayar.

Los *estabilizadores disponibles en la naturaleza* más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla.
- Paja y fibras de plantas
- Jugos de plantas (savia látex, aceites).
- Cenizas de madera.
- Excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo).
- Otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros).

7.9.1. FUENTES DE ARENAS INVESTIGADAS EN NICARAGUA

En Nicaragua existen innumerables fuentes de arenas, de las cuales unas son accesibles y otras no. Varias de ellas fueron estudiadas por el Ingeniero J. Icabalceta Mayorga, el Ingeniero Alberto Marín Calero y por el Ingeniero Mariano Arguello en sus respectivas monografías de graduación.

A continuación se muestra un listado de listas de diferentes fuentes de investigación por los ingenieros antes mencionados:

a) Ing. Jaime Icabalceta.

NOMBRE DE LA FUENTE APROXIMADA	UBICACIÓN
Motastepe Centro.	Km. 17 carretera Managua a la Paz
Los Llanos	Km. 110 carretera León, Chinandega.
Arrollo de Nandaime	Km. 66 carretera Nandaime, Rivas.
Quebrada San Isidro	Km. 115 carretera Sebaco, El Espino.

b) Ing. Alberto Marín Calero.

NOMBRE DE LA FUENTE APROXIMADA	UBICACIÓN
Rio Coco	Rio Coco, cercanía a ciudad de Ocotal.
Rio Viejo	Rio Viejo, carretera panamericana
Lago de Granada	Costas del gran lago de Granada.
Sabana Grande	Lecho del cauce se Sabana Grande.
Rio Saklin	afluente del Rio Coco, Waspán.

c) Ing. Mariano Arguello Downing.

**NOMBRE DE LA FUENTE
APROXIMADA**

UBICACIÓN

Miraflores

Nor-Oeste de Managua, crrtra a Xiloá.

Las arenas se clasifican en dos grandes grupos:

- 1) Arenas naturales.
- 2) Arenas artificiales.

7.9.2. ARENAS NATURALES

Son las más corrientes y las más usadas en la industria de la construcción, y deben su formación principalmente a la desintegración de la roca madre bajo la acción de agentes naturales tales como el viento, el agua, etc.

Entre los depósitos de arenas naturales, se pueden mencionar las siguientes;

- a) Arenas de Minas:

Estas fuentes de arenas deben su formación a procesos geológicos, y se les localiza en formas de cerros o bien en superficies planas o en cortes corrientes por estratos variables de suelos de diferente naturaleza. Están generalmente constituidas por granos angulosos y ordinariamente contienen arcillas y materiales orgánicos. Dependiendo de la cantidad y calidad de las impurezas que contienen se pueden presentar en coloraciones azul, plomo, pardo y rosa.

b) Arenas Fluviales:

Estas arenas provienen de la desintegración de las rocas que al ser transportadas a otros sitios por las aguas, se depositan en las orillas de los ríos, cauces, etc.

Entre las diferentes arenas fluviales se encuentran las siguientes:

- 1) Arenas de Ríos: Se encuentran en los cauces de los ríos presentan una granulometría adecuada y granos redondeados. En la mayoría de los casos son sometidas a un proceso de lavado antes de ser usadas.
- 2) Arenas de Cauces: Se encuentran generalmente localizadas en la parte más alejada del pie de los cerros de donde provienen, son arrastradas por las agua, al encontrar pendientes suaves. Las arenas en este caso tiene forma angulosas y redondeadas, dependiendo de las distancias de recorrido se ser depositadas.

c) Arenas de Dunas.

Este tipo de arenas se encuentran en las regiones semiáridas. Tienen un tamaño de grano que va de fino a medio y son graduadas.

7.9.3. AREAS ARTIFICIALES.

Son poco comunes y se usan cuando generalmente no se dispone de fuentes naturales de materiales.

El proceso de manufactura empleado para obtener este tipo de arenas, consiste básicamente en las siguientes etapas: TRITURACION Y MOLIDO.

Las fuentes de materia prima de donde puede obtenerse el material necesario para producir arenas artificiales son de dos tipos:

a) Fuentes naturales:

Son todos los depósitos de canteras y afloramientos de los estratos de rocas.

b) Fuentes Artificiales:

Son las escorias de los altos hornos enfriados al aire y triturados o sin triturar.

7.10. CEMENTOS.

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas. Las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición comprende una gran variedad de materiales cementantes.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arenas, ladrillos, bloques de construcción etc.

El empleo de materiales cementantes es muy antiguo, los egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro, los griegos y romanos utilizaban caliza calcinada y posteriormente aprendieron a mezclar cal con agua, arenas y piedras trituradas o ladrillos y tejas quebradas, esto fue el primer concreto de la historia. Un mortero de cal no endurece bajo la acción del agua, por lo tanto, para construcciones sujetas a la acción de agua, los romanos mezclaban cal con cenizas volcánicas, o con tejas de arcilla quemada, finalmente trituradas.

La sílice activa y la alúmina que se encuentra en las cenizas y en las tejas se combinan con la cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico, proveniente del nombre del pueblo de Pozzuoli, cerca de Versubio, donde se encontró la primera vez ceniza volcánica. El nombre del cemento puzolánico se utiliza hasta nuestros tiempos para describir cementos obtenidos simplemente de moler materiales naturales a temperatura normal.

A partir del año 1796, en que James Parker, descubrió que se podrían fabricar cementos hidráulicos naturales calcinados una mezcla de caliza y arcillosa, llamándole cemento romano, por sus propiedades hidráulicas.

En 1824, Joseph Aspidin, constructor de Leeds, patentó el “Cemento Portland”, este cemento se prepara calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el Bióxido de Carbono, esta temperatura

era mucho más baja que la necesaria para la formación del Clinker. El prototipo del cemento moderno lo obtuvo en 1845 Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de Clinker, con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto cementante.

El nombre del cemento Portland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de portland.

7.10.1. SU FABRICACION

La extracción de la roca caliza se suele hacer a cielo abierto, por voladura con dinamita. Las arcillas se extraen con picos o palas excavadoras cargando directamente en camiones, los cuales conducen las materias primas hacia las trituradoras. El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarlas en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de aproximadamente 1,400°C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como Clinker.

El Clinker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso (3% - 5%) y el producto comercial resultante es el cemento portland. Estas en condiciones para empacarse en las conocidas bolsas de papel o para transporte en granel.

La mezcla y trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas; de aquí provienen los nombres de proceso húmedo o seco. En la actualidad el método de fabricación depende también de la dureza de la materia prima empleada y de su contenido de humedad.

Existen otros procesos de fabricación del cemento dignos de mención, uno de ellos se utilizan yeso en vez de cal, en un horno rotatorio se queman yeso, arcilla y coque con arena y óxido de hierro, y el producto final es cemento portland y dióxido de azufre, el cual se convierte posteriormente en ácido sulfúrico.

En áreas donde solo se requiere una pequeña producción de cemento, puede usarse un horno vertical tipo Gottlieb. Este arroja nódulos de grano crudo y polvo fino de carbón combinados y produce Clinker aglomerado, el cual se tritura posteriormente. Un horno simple de 8.5 metros de altura produce 150 toneladas diarias de cementos.

Debe hacerse notar que todos los procesos requieren una muy buena mezcla de las materias primas, ya que parte de las reacciones en el horno se llevan a cabo por difusión en los materiales sólidos, y es esencial una distribución uniforme para asegurar un producto uniforme.

7.10.2. CONTITUCION QUIMICA DEL CEMENTO.

Los principales constituyentes de un cemento son: cal, sílice y alúmina, contiene además pequeñas cantidades de óxido de hierro, magnesia, trióxido de sulfuro, álcalis y bióxido de carbono.

En un cemento de buena calidad, sus constituyentes deben estar comprendidos dentro de los siguientes límites:

Tabla No. 30. Constitución química del cemento.

OXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 al 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 4.0
Álcalis	0.2 - 1.3
SO ₃	1 - 3.0

Limitantes del cemento.

De las investigaciones de Le´Chatelier, Newbarry, Rankin etc... Se llega a la conclusión que el cemento, los elementos cálcicos, sílice, alúmina y hierro se combinan para formar:

Ver tabla No. 31. (Combinaciones del cemento).

Tabla No. 31. Combinaciones del cemento.

NOMBRE	COMPOSICION DE OXIDO	ABREVIATURA
Silicato tricalcico	3CaO, SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicalcico	2CaO, SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricalcico	3CaO, Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminio ferrito tetra cálcico	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Investigaciones de Le´Chatelier, Newbarry, Rankin

Silicato Tricalcicos (C₃S): Le suministra al concreto la resistencia a los 7 días.

Silicato Di cálcico (C₂S): Da la resistencia a los 28 días, debido a que este fragua muy lentamente al contacto con el agua.

Aluminato Tricalcico (C₃A): Se hidrata el primer día que tiene contacto con el agua.

Aluminato Férrico Tetra cálcico (C₄AF): Tiene muy pocas propiedades cementantes debido a la presencia de hierro.

Magnesia: Si se encuentra en grandes en el cemento producirá insanidad, debido a que tiene una hidratación muy lenta.

7.10.3. RESISTENCIA DEL CEMENTO.

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material que resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. Por tanto, no es sorprendente que las pruebas de resistencia estén indicadas en todas las especificaciones del cemento.

La resistencia de un mortero o de un concreto depende de la cohesión de la pasta del cemento, de su adhesión a las partículas de los agregados y de los aglomerantes, en cierto grado, de la resistencia de los agregados mismos. Este último no se considera en esta etapa y se elimina en las pruebas de calidad del cemento mediante el uso de agregados.

No se efectúan pruebas de resistencia de pastes de cemento puro, debido a las dificultades experimentales del moldeo, que originarían una gran variación en los resultados para determinar la resistencia del cemento, se utilizan mezclas de cemento, arena, cal, adobe (arcilla) y cascarilla de arroz.

Las proporciones a utilizarse en este ensayo de laboratorio son las siguientes para cada uno de las pruebas encontradas con su resistencia óptima.

Los patrones de base sobre las mezclas, se definen de la siguiente de manera que:

- Arcilla 97.5%, 95%, 92.5%, 90%, 87.5% y 85%.

- Cascarilla de arroz 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%.

Los aglomerantes y agregados mezclando estos con los patrones se definen de la siguiente manera:

- Cemento 5%, 7%, 9% y 11%.

- Cal 5%, 7%, 9% y 11%.

- Arena 5%, 7%, 9% y 11%.

7.11. PRUEBAS REALIZADAS CON LOS SIGUIENTES AGLOMERANTES Y AGREGADOS.

A continuación se presentara el tipo de estudio que se realizaron con los aglomerantes y agregados con cascarilla de arroz y arcilla.

Los equipos que se utilizaron son los siguientes.

7.11.1 EQUIPO.

1. Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4" de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ "de altura y de 4" de diámetro interior.
2. Un pisón metálico (martillo proctor) de 5.5 lb. de peso (2.5 Kg) de 5 cm (2") de diámetro.
3. Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
4. Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
5. Una balanza de 29 Kg de capacidad y 1.0 gr. de sensibilidad.
6. Una balanza de 500 gr., de capacidad y de 0.01 gr., de sensibilidad.
7. Charolas metálicas.
8. Extractor de muestras.

7.11.2. PROCEDIMIENTOS.

Aparte del contenido inicial de agua y de la energía específica de compactación y estudios granulométricos, que son factores importantes para este estudio monográfico esto también influye la compactación de los suelos, hay otros que, en algunos casos, pueden ser de significación y cuya importancia práctica no debe ser subestimada. Brevemente se realizó el estudio de dichos agregados y aglomerantes con cascarilla de arroz y las pruebas se muestran a continuación.

Se obtiene los materiales a utilizar como PATRON arcilla, cascarilla de arroz, los aglomerantes como la cal y el cemento y agregados como la arena. Para las siguientes porciones se realizaron 507 pruebas, con cilindros de moldes metálicos con un peso de 5.278 kg. De pruebas de muestras a estudiar y encontrando su carga óptima ya encontrada una sola vez realizada las siguientes pruebas. Se encontraron tipos de ensayos con una carga óptima de 21 km/cm² las cuales se presentan a continuación:

▪ **7.11.2.1. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y CAL.**

1. Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 32. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

90%, 10%, 11%, 11%

Fotos Nos. 63, 64, 65, 66. Pesos de agregados y aglomerantes.



Peso (%) de los materiales.

2. De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No, 67. % de agua para mezclas.



1151 ml de agua

3. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 69 y 69. Cambio de color de las mezclas.



Muestra seca.



Muestra húmeda.

4. Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.
5. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
6. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 70 y 71. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.

7. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No. 72, 73 y 74. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

8. Con ayuda del extractor se extrae el espécimen del molde.

Fotos No. 75, 76, 77. Extracción de los especímenes.



Retiro del molde cilíndrico de los 3 especímenes.

9. Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No. 78 y 79. Saturación de los especímenes.



Espécimen en saturación por 7 días.

10. Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de California CBR.

Foto No. 80. Ensayo para resistencia.



Lecturas para los especímenes A, B, y C.

11. Ya preparada la máquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los especímen realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No. 81. 82. 83. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

Foto. No. 84. 85. 86. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No. 87. 88.89. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

12. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes.

7.11.2.1.1. CALCULOS.

Especimen A

68 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3600.6 libras.

3600.6 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 286.53psi (lb/plg²).

286.53 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 20.15 kg/cm².

Especimen B

72 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3812.4 libras.

3812.4 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 303.39 psi (lb/plg²).

303.39 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.33 kg/cm².

Espécimen C

74 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)

= 3918.3 libras

3918.3 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)

= 311.81 psi (lb/plg²).

311.81 ÷ 14.22 (factor de conversión)

= 21.92 kg/cm².

Espécimen A = 20.15 kg/cm²

Espécimen B = 21.33 kg/cm²

Espécimen C = 21.92 kg/cm² = 63.4 kg/cm² ÷ 3 = **21.13 kg/cm²**

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (90%, 10%, 11%, 11%).

Donde:

Esfuerzo = (lectura del factor del anillo de la máquina) x 52.95

Área del espécimen

= Psi (lb/plg²)

; Psi a Kg/cm².

14.22 factor de conversión (Kg/cm²).

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²).

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

Donde la mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, cal y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

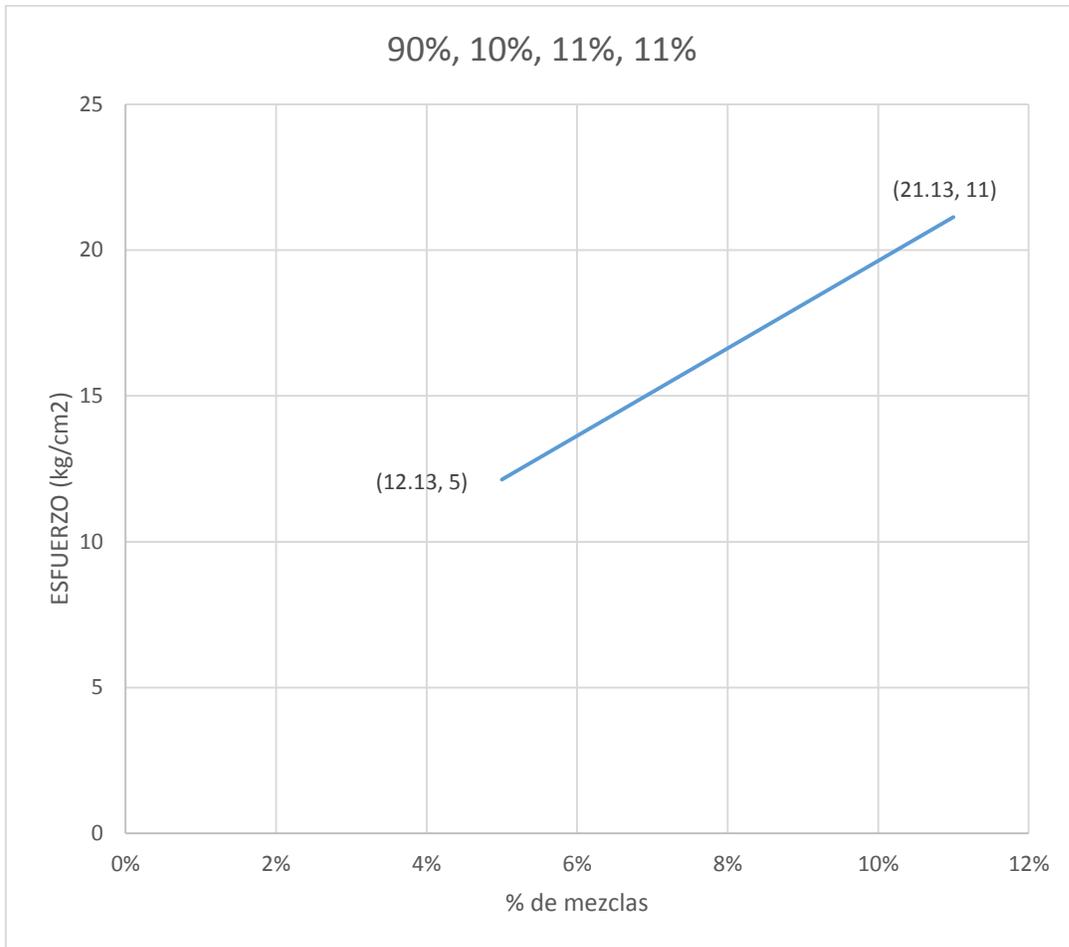
13. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No. 33 resultados obtenidos de prueba de cbr.

% de mezclas	kg/cm²
5%	12.13
7%	14.12
9%	14.51
11%	21.13

Resultados obtenidos en la maquina CBR. AASHTO T 183-63.

Ver grafica en la siguiente página.



Gráfica de carga para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal y cemento.

14. Se repiten los pasos anteriores, hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá al máximo valor encontrado de resistencia óptima.

▪ **7.11.2.2. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y ARENA.**

1. Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 34. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla	Cascara de arroz	%	Cemento	Arena	Agua
95.00%	5.00%		kg	Kg	ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

95%, 5%, 11%, 11%

Fotos No. 90. 91. 92.93. Pesos de agregados y aglomerantes.



Peso (%) de los materiales.

2. De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No, 94. % de agua para mezclas.



1151 ml de agua.

Nota: Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 95 Y 96. Cambio de color de las mezclas



Muestra seca.



Muestra húmeda.

3. Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.

4. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cm, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
5. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie.

Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 97 Y 98. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.

6. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No. 99. 100 .101. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

7. Con ayuda del extractor se extrae el espécimen del molde.

Fotos No. 102. 103. 104. Extracción de los especímenes.



Retiro del molde cilíndrico de los 3 especímenes.

8. Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No. 105 Y 106. Saturación de los especímenes



Espécimen en saturación por 7 días.

Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de california CBR.

Foto No. 107. Ensayo para resistencia.



Lecturas para los especímenes A, B, y C.

9. Ya preparada la máquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los ensayos realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No. 108. 109. 110. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

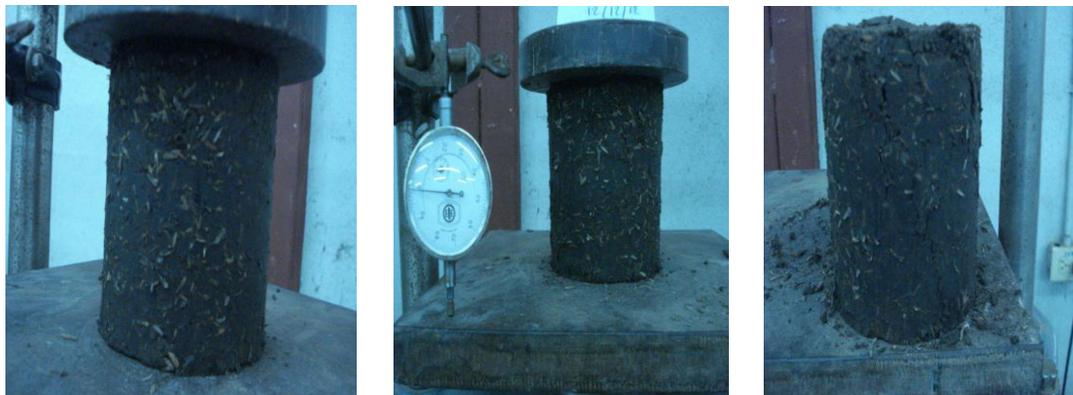
Foto. No. 111. 112. 113. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No. 114. 115. 116. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

10. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes.

7.11.2.2.1. CALCULOS.

Especimen A

70 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3706.5 libras.

3706.5 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 294.96 psi (lb/plg²).

294.96 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 20.74 kg/cm².

Especimen B

72 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3812.4 libras.

3812.4 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 303.39 psi (lb/plg²).

303.39 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.33 kg/cm².

Espécimen C

75 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3971.2 libras

3971-2 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 316.02 psi (lb/plg²).

316.02 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 22.22 kg/cm².

Espécimen A = 20.74 kg/cm²

Espécimen B = 21.33 kg/cm²

Espécimen C = 22.22 kg/cm² = 64.29 kg/cm² ÷ 3 = **21.43 kg/cm²**

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (95%, 5%, 11%, 11%).

Donde:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{(\text{lectura del factor del anillo de la máquina}) \times 52.95}{\text{Área del espécimen}}$$

$$= \frac{\text{Psi (lb/plg}^2\text{)}}{14.22 \text{ factor de conversión (Kg/cm}^2\text{)}} ; \text{Psi a Kg/cm}^2.$$

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²).

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

La mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, arena y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

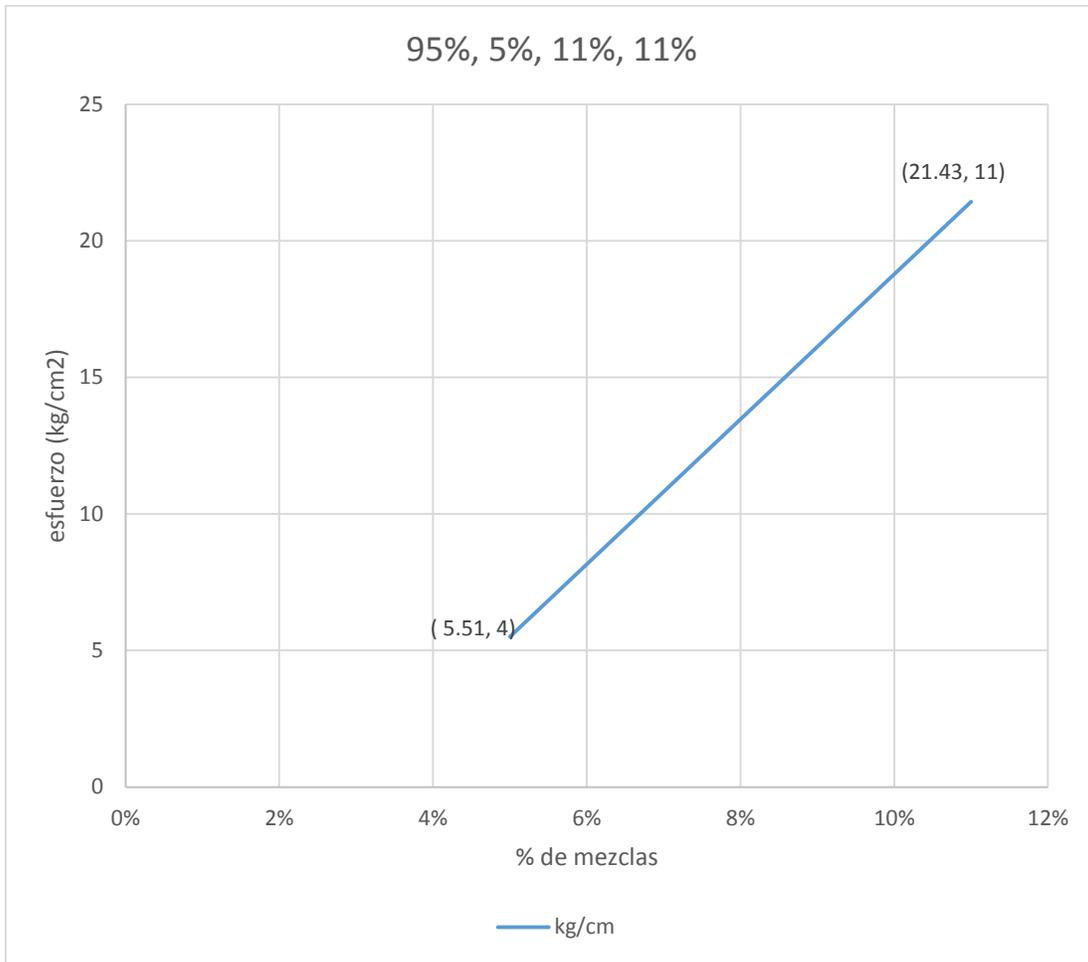
11. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No. 35. Resultados obtenidos de prueba de cbr.

% de mezclas	kg/cm²
5%	5.51
7%	10.86
9%	16.29
11%	21.43

Resultados de cargas obtenidos de la maquina CBR

Ver grafica en la siguiente página.



Grafica de la carga para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal y cemento.

12. Se repiten los pasos anteriores, con el siguiente espécimen que permita trazar una curva cuya cúspide corresponderá al máximo valor encontrado de resistencia óptima.

▪ **7.11.2.3. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y ARENA.**

1. Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 36. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla	Cascara de arroz	%	Cemento	Arena	Agua
92.50%	7.50%		kg	Kg	ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

92.5%, 7.5%, 11%, 11%

Fotos No. 117. 118. 119. 120. Pesos de agregados y aglomerantes.



Peso % de los materiales.

- De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No, 121. % de agua para mezclas



1151 ml de agua

- Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 122 y 123. Cambio de color de las mezclas.



Muestra seca.



Muestra húmeda.

- Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.

5. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
6. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 124 y 125. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.

7. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No. 126. 127. 128. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

8. Con ayuda del extractor se saca el material del molde.

Fotos No. 129. 130. 131. Extracción de los especímenes.



Retiro del molde cilíndrico de los 3 espécimen.

9. Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No. 132 y 133. Saturación de los especímenes.



Espécimen en saturación por 7 días.

10. Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de california CBR.

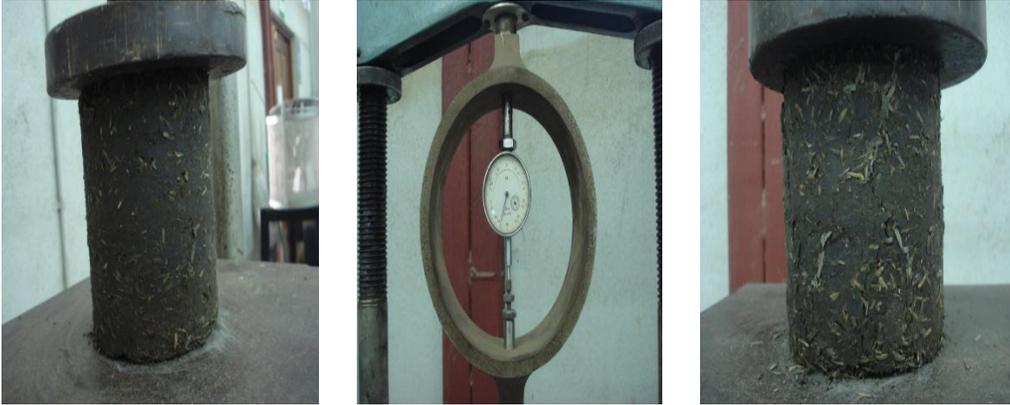
Foto No. 134. Ensayo para resistencia.



Pruebas en la máquina CBR para espécimen.

11. Ya preparada la máquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los espécimen realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No. 135. 136. 137. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

Foto. No. 138. 139. 140. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No. 141. 142. 143. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

12. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes:

7.11.2.3.1. CALCULOS.

Especimen A

$79 \text{ n (lectura de deformación)} \times 52.95 \text{ (factor del anillo de la máquina)}$
 $= 4183.05 \text{ libras.}$

$4183.05 \text{ lb} \div 12.566 \text{ (área del espécimen)}$
 $= 332.88 \text{ psi (lb/plg}^2\text{).}$

$332.88 \div 14.22 \text{ (factor de conversión)}$
 $= 23.40 \text{ kg/cm}^2\text{.}$

Espécimen B

72 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3812.4 libras.

3812.4 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 303.39 psi (lb/plg²).

303.39 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.33 kg/cm².

Espécimen C

74 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3918.3 libras

3918.3 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 311.81 psi (lb/plg²).

311.81 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.92 kg/cm².

Espécimen A = 23.40 kg/cm²

Espécimen B = 21.33 kg/cm²

Espécimen C = 21.92 kg/cm² = 66.65 kg/cm² ÷ 3 = **22.21 kg/cm²**.

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (90%, 10%, 11%, 11%).

Donde:

Esfuerzo = (lectura del factor del anillo de la máquina) x 52.95

Área del espécimen

$$= \frac{\text{Psi (lb/plg}^2)}{14.22 \text{ factor de conversión (Kg/cm}^2)} ; \text{Psi a Kg/cm}^2.$$

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²)

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

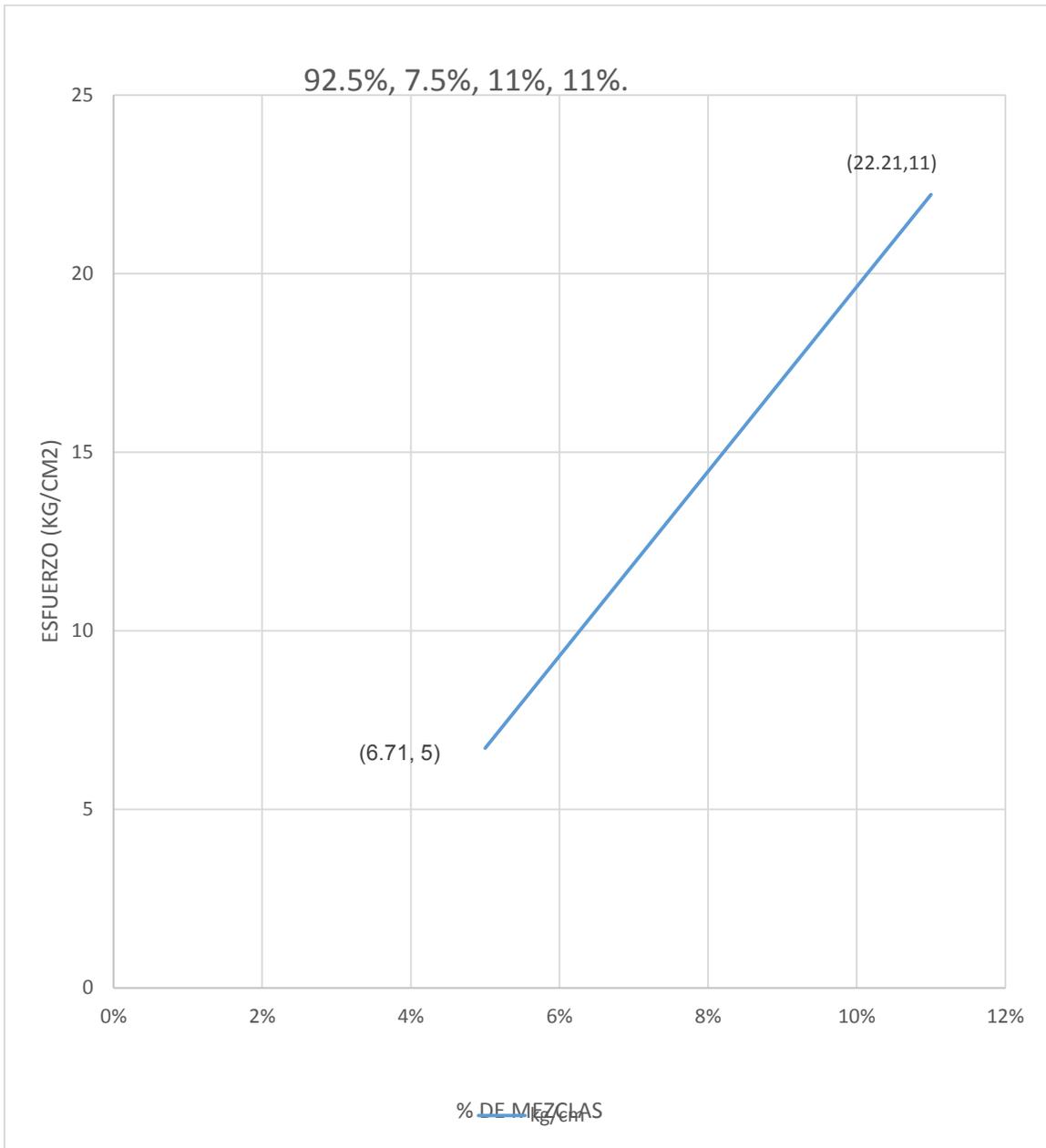
Donde la mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, arena y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

13. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No. 37. Resultados obtenidos de prueba de cbr.

%	kg/cm ²
5%	6.71
7%	13.34
9%	19.75
11%	22.21

Resultados obtenidos de máquina CBR.



Grafica de carga para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal y cemento.

14. Se repiten los pasos anteriores, hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá al máximo valor encontrado de resistencia óptima.

7.11.2.4. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.

Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 38. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla	Cascara de arroz	%	Cemento	Cal	Arena	Agua
95.00%	5.00%		Kg	Kg	Kg	ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

95%, 5%, 11%, 11%, 11%

Fotos No. 144. 145. 146. 147. 148. Pesos de agregados y aglomerantes.



Peso % de los materiales.

1. De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No. 149. % de agua para mezclas



1151 ml de agua

2. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 150 y 151. Cambio de color de las mezclas.



Muestra seca.



Muestra húmeda.

3. Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.
4. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
5. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 152 y 153. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

6. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No. 154. 155. 156. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

7. Con ayuda del extractor se saca el material del molde.

Fotos No.157. 158. 159. Extracción de los especímenes.



Retiro de los moldes cilíndricos de las 3 especímenes.

Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No. 160 y 161. Saturación de los especímenes



Especímenes en saturación por 7 días.

8. Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de california CBR.

Foto No.162. Ensayo para resistencia.



Lecturas realizadas de los especímenes A, B, y C. por medio de la máquina CBR

9. Ya preparada la máquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los espécimen realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No.163. 164. 165. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura de espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

Foto. No.166. 167. 168. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura de espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No. 169. 170. 171. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura de espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

10. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes.

7.11.2.4.1. CALCULOS.

Especimen A

71 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3759.45 libras.

3759.45 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 299.17 psi (lb/plg²).

299.17 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.03 kg/cm².

Espécimen B

74 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 3918.3 libras.

3918.3 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 311.81 psi (lb/plg²).

311.81 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.92 kg/cm².

Espécimen C

78 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 4130.1 libras

4130.1 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 328.67 psi (lb/plg²).

328.67 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 23.11 kg/cm².

Espécimen A = 21.03 kg/cm²

Espécimen B = 21.92 kg/cm²

Espécimen C = 23.11 kg/cm² = 66.06 kg/cm² ÷ 3 = **22.02 kg/cm²**.

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (95%, 5%, 11%, 11%, 11%).

Donde:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{(\text{lectura del factor del anillo de la maquina}) \times 52.95}{\text{Área del espécimen}}$$

$$= \frac{\text{Psi (lb/plg}^2\text{)}}{14.22 \text{ factor de conversión (Kg/cm}^2\text{)}} ; \text{Psi a Kg/cm}^2.$$

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²).

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

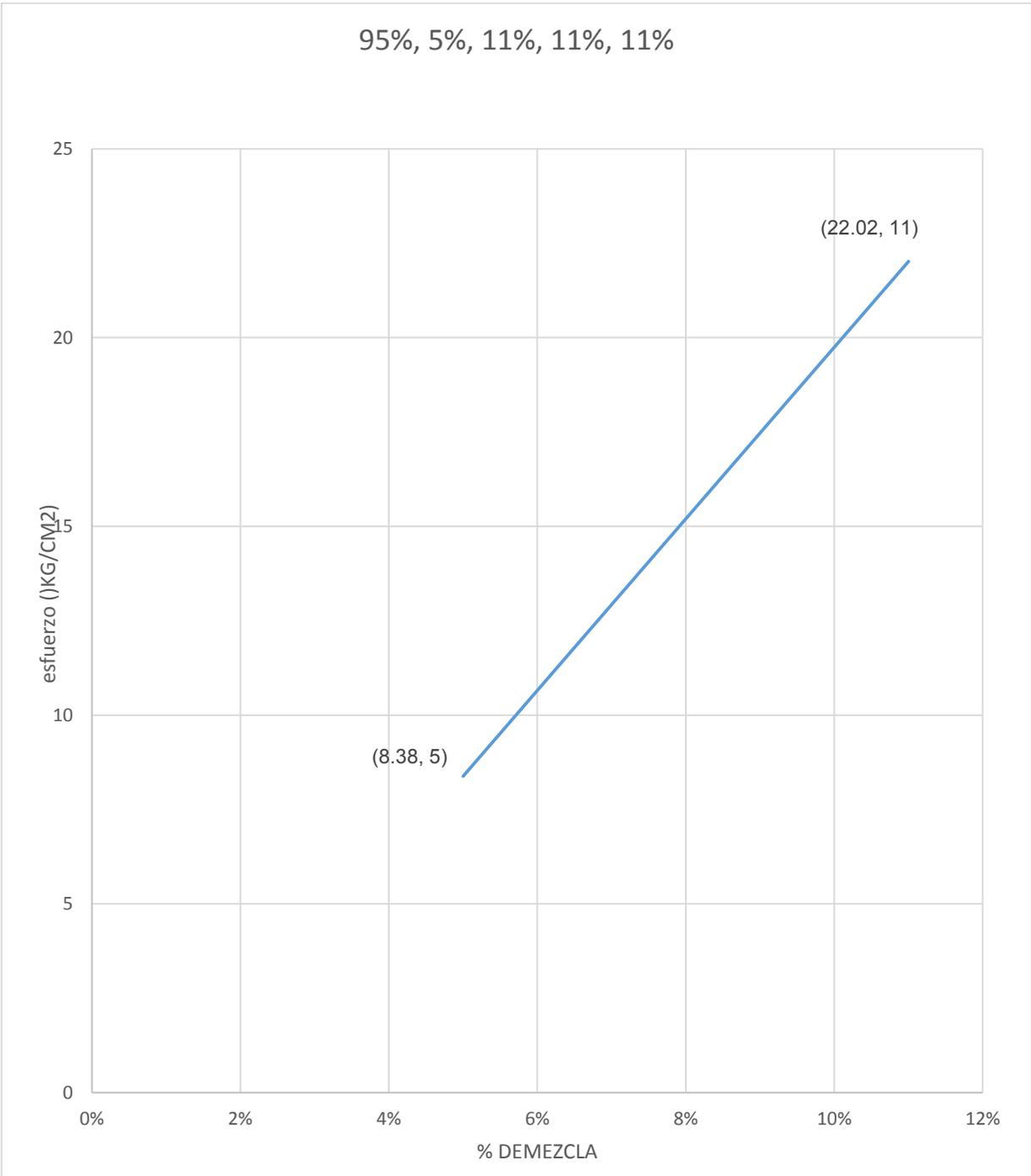
Donde la mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, cal, arena y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

11. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No 39. Resultados obtenidos de prueba de cbr.

%	kg/cm ²
5%	8.38
7%	11.25
9%	10.66
11%	22.02

Resultados obtenidos por medio de la máquina CBR.



Grafica de cargas para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal, arena y cemento.

12. Se repiten los pasos anteriores, hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá al máximo valor encontrado de resistencia óptima.

▪ **7.11.2.5. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.**

1. Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 40. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

90%, 10%, 11%, 11%, 11%.

Fotos No. 172.173. 174. 175. 176. Pesos de agregados y aglomerantes.





Peso % de los materiales.

2. De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No. 177. % de agua para mezclas



1151 MI de agua

3. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 178 y 179. Cambio de color de las mezclas.



Muestra seca.



Muestra húmeda.

4. Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.
5. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms., se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
6. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 180 y 181. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enraza la muestra al nivel superior del cilindro.

7. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No.182. 183. 184. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

8. Con ayuda del extractor se saca el material del molde.

Fotos No.185. 186. 187. Extracción de los especímenes.



Retiro de los moldes cilíndricos de los 3 especímenes.

9. Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No. 188 y 189. Saturación de los especímenes.



Especimen en saturación por 7 días.

10. Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de california CBR.

Foto No.190. Ensayo para resistencia.



Lecturas realizadas de los especímenes A, B, y C por medio de la máquina CBR.

11. Ya preparada la maquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los espécimen realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No. 191. 192. 193. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

Foto. No.194.195.196. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No.197. 198. 199. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

12. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes.

7.11.2.5.1. CALCULOS.

Espécimen A

70 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3706.5 libras.

3706.5 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 294.96 psi (lb/plg²).

294.96 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 20.74 kg/cm².

Espécimen B

68 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 3600.6 libras.

3600.6 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 286.53 psi (lb/plg²).

286.53 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 20.14 kg/cm².

Espécimen C

76 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 4024.2 libras

4024.2 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 320.3 psi (lb/plg²).

$$320.2 \div 14.22 \text{ (factor de conversión)} \\ = 22.51 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Espécimen A} = 20.74 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Espécimen B} = 20.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Espécimen C} = 22.52 \text{ kg/cm}^2 = \underline{63.4 \text{ kg/cm}^2} \div 3 = \mathbf{21.13 \text{ kg/cm}^2}.$$

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (90%, 10%, 11%, 11%, 11%).

Donde:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{(lectura del factor del anillo de la máquina)} \times 52.95}{\text{Área del espécimen}}$$

$$= \frac{\text{Psi (lb/plg}^2\text{)}}{14.22 \text{ factor de conversión (Kg/cm}^2\text{)}} \quad ; \text{ Psi a Kg/cm}^2.$$

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²).

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

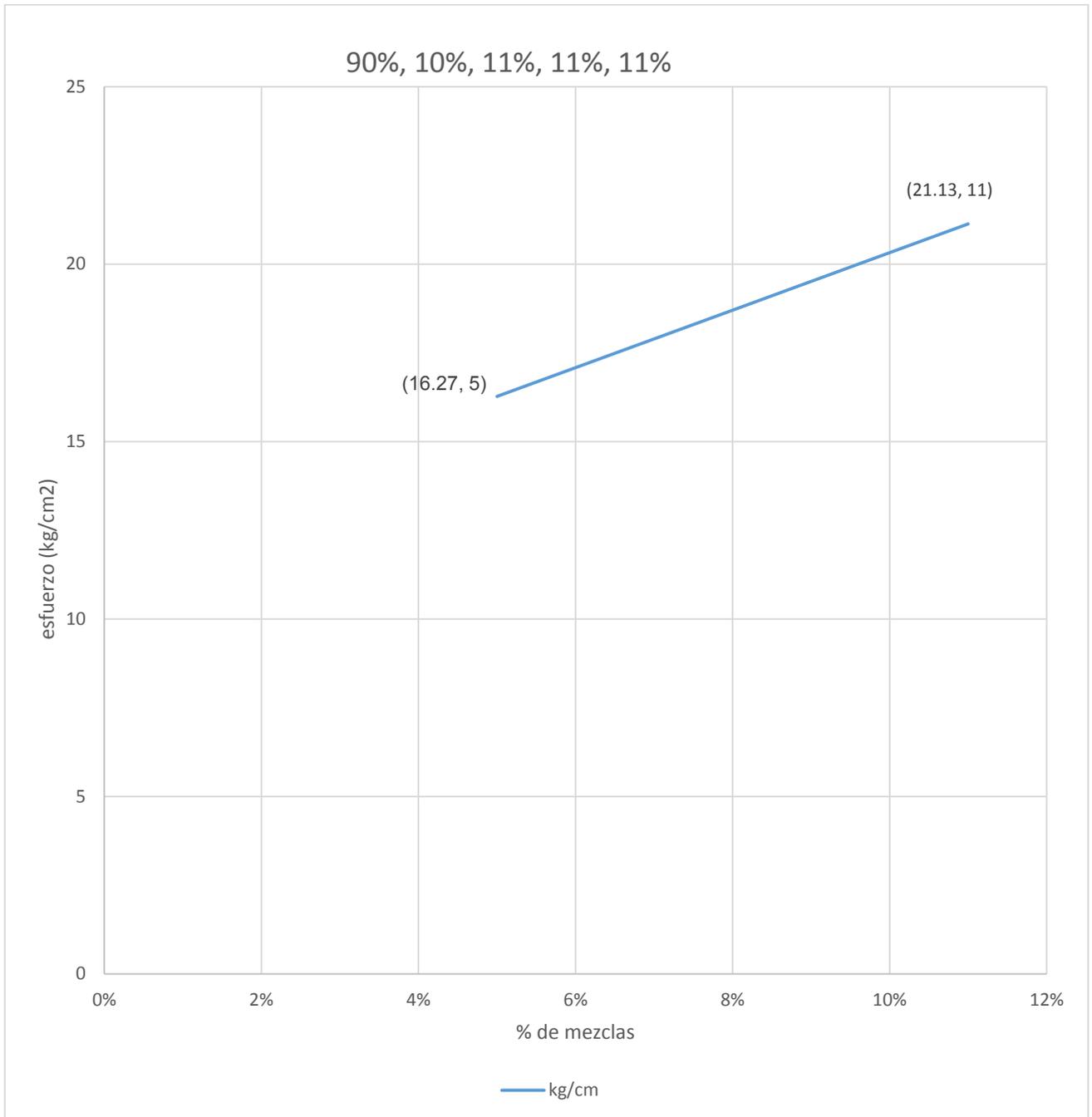
Donde la mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, cal, arena y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

13. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No. 41. Resultados obtenidos de prueba de cbr.

%	kg/cm
5%	16.27
7%	14.22
9%	19.15
11%	21.13

Resultados obtenidos por medio de la máquina CBR.



Grafica de cargas para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal, arena y cemento.

14. Se repiten los pasos anteriores, hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá al máximo valor encontrado de resistencia óptima.

7.11.2.6. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.

1. Se pesan todas las muestras para realizar la mezcla según el criterio a seguir.

Tabla No. 42. Porcentajes de mezclas para espécimen.

Arcilla	Cascara de arroz	%	Cemento	Cal	Arena	Agua
87.50%	12.50%		Kg	Kg	Kg	ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

87.5%, 12.5%, 11%,11%, 11%.

Fotos No. 200. 201. 202. 203. 204. Pesos de agregados y aglomerantes.



Peso % de los materiales.

2. De los materiales ya preparados se esparce 1151 ml de agua.

Foto No. 205. % de agua para mezcla.



1151 MI de agua

3. Se revuelve completamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.

Foto No. 206 y 207. Cambio de color de las mezclas.



Muestra seca.



Muestra húmeda

4. Se pesa el molde (cilíndrico), anotamos su peso que tienen valor de peso de 55.95 kg.
5. La muestra preparada se coloca en el molde (cilíndrico) en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente 1/3 de su altura. Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 cms, se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón.
6. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes cada capa, se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.

Foto No. 208 y 209. Compactación del espécimen.



Compactación de la muestra.

7. Al terminar la compactación de las tres capas, se quita la extensión y con la regla metálica se enrasa la muestra al nivel superior del cilindro. Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindros).

Fotos No. 210. 211. 212. Pesos de los especímenes.



Peso de los cilindros con la muestra ya compactada.

8. Con ayuda del extractor se saca el material del molde.

Fotos No. 213. 214. 215. Extracción de los especímenes.



Retiro de los moldes cilíndricos de los 3 especímenes.

Se depositan los especímenes en bolsas plásticas transparentes por un período de 7 días de saturación, transcurrido este período se determina el ensayo para encontrar la carga óptima de los 21 kg/cm².

Fotos No.216 y 217. Saturación de los especímenes.



Especímenes en saturación por 7 días.

9. Una vez saturado los 7 días se procede a realizar el ensayo con la máquina de california CBR.

Foto No.218. Ensayo para resistencia.



Lecturas realizadas de los especímenes A, B, y C por medio de la máquina de CBR.

10. Ya preparada la máquina se procede a realizar los estudios y pruebas de cada uno de los espécimen realizados para cada mezcla y sus patrones.

Foto. No. 219. 220. 221. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra A.

Foto. No. 222. 223. 224. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra B.

Foto. No. 225. 226. 227. Lectura de deformación de los especímenes.



Lectura del espécimen, deformación y carga.

Muestra C.

11. Calculando los siguientes valores, tomados de las lecturas de cargas. Se toma lo siguiente:

Estos son los datos realizados para encontrar la fuerza o carga optima buscada en cada uno de los especímenes. (Ver siguiente página).

7.11.2.6.1. CALCULOS

Espécimen A

72 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la máquina)
= 3812.4 libras.

3812.4 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 303.39 psi (lb/plg²).

303.39 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 21.33 kg/cm².

Espécimen B

76 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 3600.6 libras.

4024.2 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 3020.24 psi (lb/plg²).

3020.24 ÷ 14.22 (factor de conversión)
= 22.52 kg/cm².

Espécimen C

74 n (lectura de deformación) x 52.95 (factor del anillo de la maquina)
= 3918.3 libras

3918.3 lb ÷ 12.566 (área del espécimen)
= 311.81 psi (lb/plg²).

$$311.81 \div 14.22 \text{ (factor de conversión)} \\ = 21.92 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Espécimen A} = 21.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Espécimen B} = 22.52 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Espécimen C} = 21.92 \text{ kg/cm}^2 = \underline{65.77 \text{ kg/cm}^2} \div 3 = \mathbf{21.92 \text{ kg/cm}^2}.$$

Carga optima de las pruebas del espécimen realizado (87.5%, 12.5%, 11%, 11%, 11%).

Donde:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{(lectura del factor del anillo de la maquina)} \times 52.95}{\text{Área del espécimen}}$$

$$= \frac{\text{Psi (lb/plg}^2\text{)}}{14.22 \text{ factor de conversión (Kg/cm}^2\text{)}} \quad ; \text{ Psi a Kg/cm}^2.$$

Donde:

N= Lectura de deformación (libras).

52.95= Factor del anillo de la máquina CBR de lectura.

12.566= Área del espécimen Psi (lb/plg²).

14.22= Factor de conversión (Kg/cm²).

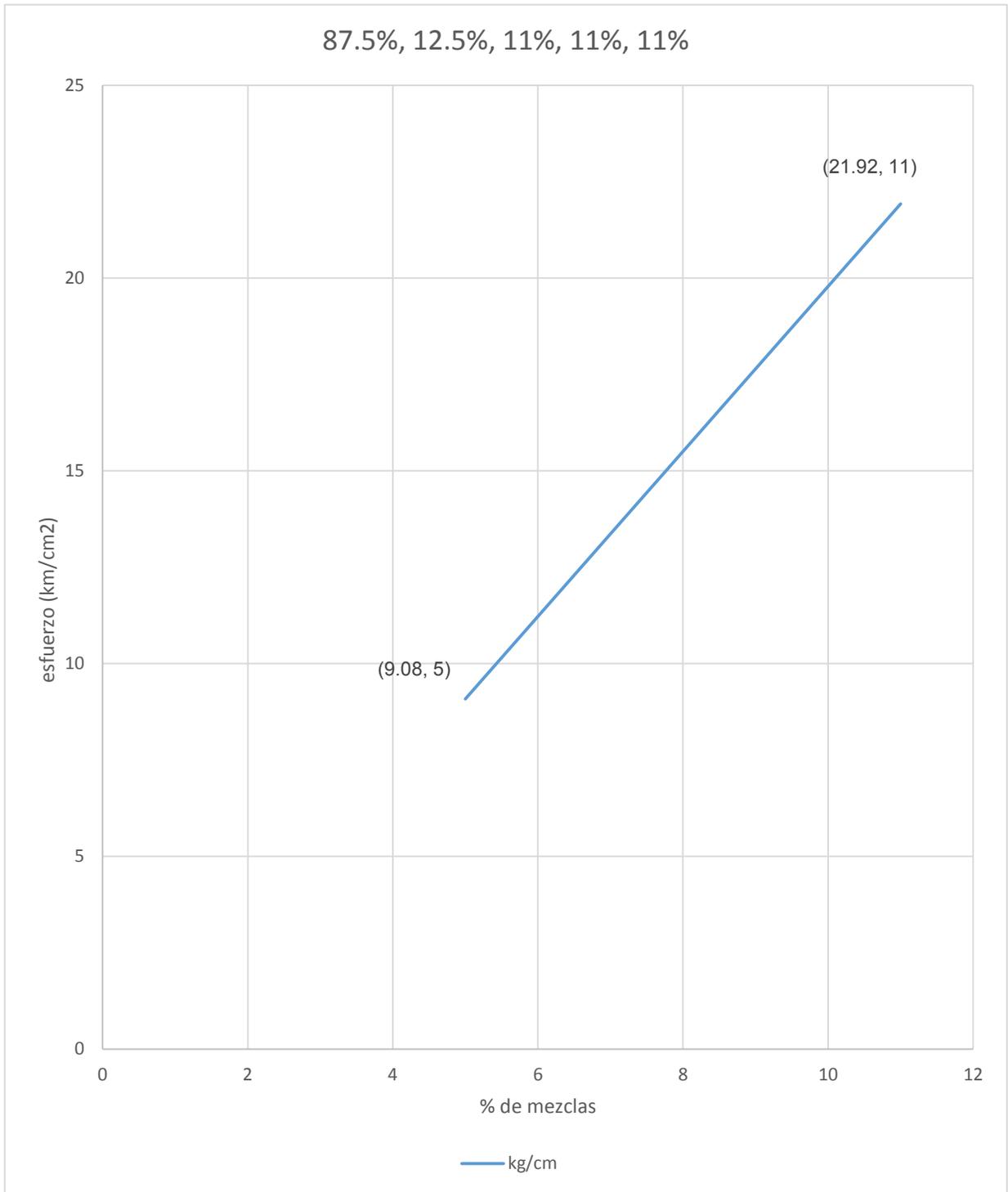
Donde la mezcla de arcilla, cascarilla de arroz, cal, arena y cemento se encontró la carga del espécimen como buena prueba de resistencia de carga por medio de la máquina de california o CBR.

12. La grafica obtenida de este estudio es la siguiente:

Tabla No. 43. Resultados obtenidos de prueba de cbr.

%	kg/cm
5	9.08
7	10.17
9	16.59
11	21.92

Resultados obtenidos por medio de la máquina de CBR.



Grafica de carga para el Adobe, Cascarilla de arroz, cal, arena y cemento.

7.12. BASE DE ESTUDIO.

Después de haber realizado los estudios y bases de cada uno de los especímenes se puede llegar a lo siguiente.

Para países en vías de desarrollo, caracterizados por un problema de déficit habitacional en las partes norte de Nicaragua por ejemplo, el adobe es un material que presenta ventajas económicas considerables. Las técnicas elementales de producción requieren tan solo una inversión sumamente reducida. Lo que permite eliminar los gastos de transporte ocasionados por el envío de las materias primas o de los productos acabados.

En cuanto a los tipos de suelos para fabricar adobe podemos decir que no todas las tierras sirven para la fabricación de adobe, muchas no formaran adobe con suficiente fuerza, una tierra muy arenosa es débil lo mismo que una cenagosa.

Es por eso que se concluye de forma general que los mejores suelos a estabilizar son los de $I_p > 10$ y $LI > 45$ como propiedades mínimas. Los suelos cueros constituyentes primarios de arenas y arcillas, son los apropiados para la fabricación de bloques de adobe.

En el orden estructural para una construcción fuerte y estable hecha con adobe de calidad cumple con requerimientos de resistencias de 300 Psi a 350 Psi ósea 21 Kg/cm^2 de compresión.

Con los resultados obtenidos del estudio realizado al adobe con cascarilla de arroz, cal, cemento y arena, adobe obtenido de Sn. Isidro, Sebaco, se procede a realizar los análisis pertinentes con el objeto de obtener algunas conclusiones sobre el comportamiento de dichos (materiales) aglomerantes y agregados.

La resistencia a la compresión de los 7 días de saturación de los especímenes para los distintos porcentajes (%) es variable así como para: (ver siguientes tablas).

Tabla No. 43. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y CAL.

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Especímen A = 20.15 kg/cm²

Especímen B = 21.33 kg/cm²

Especímen C = 21.92 kg/cm² = $\frac{63.4 \text{ kg/cm}^2}{3} = 21.13 \text{ kg/cm}^2$

Tabla No. 44. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO Y ARENA.

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento Kg	Arena Kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.055 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Especímen A = 20.74 kg/cm²

Especímen B = 21.33 kg/cm²

Especímen C = 22.22 kg/cm² = $\frac{64.29 \text{ kg/cm}^2}{3} = 21.43 \text{ kg/cm}^2$

Tabla No. 45. (92.5%, 7.5%, 11%, 11%).

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cemento Kg	Arena Kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Especímen A = 23.40 kg/cm²

Especímen B = 21.33 kg/cm²

Especímen C = 21.92 kg/cm² = $\frac{66.65 \text{ kg/cm}^2}{3} = 22.21 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla No 46. ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, CEMENTO Y ARENA.

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Espécimen A = 21.03 kg/cm²

Espécimen B = 21.92 kg/cm²

Espécimen C = 23.11 kg/cm² = $\frac{66.06 \text{ kg/cm}^2}{3} = \mathbf{22.02 \text{ kg/cm}^2}$.

Tabla No. 47. (87.50%, 12.50%, 11%, 11%, 11%).

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Espécimen A = 20.74 kg/cm²

Espécimen B = 20.14 kg/cm²

Espécimen C = 22.52 kg/cm² = $\frac{63.4 \text{ kg/cm}^2}{3} = \mathbf{21.13 \text{ kg/cm}^2}$.

Tabla No. 48. (90%, 10%, 11%, 11%, 11%).

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cemento Kg	Cal Kg	Arena Kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Espécimen A = 21.33 kg/cm²

Espécimen B = 22.52 kg/cm²

Espécimen C = 21.92 kg/cm² = $\frac{65.77 \text{ kg/cm}^2}{3} = \mathbf{21.92 \text{ kg/cm}^2}$.

Lo cual indica que el porcentaje óptimo del adobe estabilizado con los agregados y aglomerantes es la adecuada resistencia de 21 Kg/cm², que es la resistencia que se encuentra en el rango establecido para adobes.

La mezcla suelo cal se endurece a través del tiempo, ya que la resistencia a la compresión ha aumentado de una edad a otra para los diferentes porcentajes mostrados anteriormente. es así como de los 7 días la resistencia a la compresión se incrementó.

De esto se puede concluir que a medida que pasa el tiempo el adobe estabilizado se endurecerá y por ende dará mayor resistencia a la compresión a una tendencia igual a la del suelo cemento.

En cuanto a la resistencia en seco y húmedo esta última es mucho menor que la resistencia en seco por lo cual se concluye que el adobe estabilizado no debe usarse en lugares excesivamente húmedo y siguiendo las recomendaciones que se dan más adelante.

En cuanto al potencial de bancos, en San Isidro, Sebaco, este es grande ya que las tierras llanas o valles de los ríos se han usado siempre como bancos de adobes, lo que nos indica que en donde haya un río habrá suelo aluvial apto para producir adobe.

7.13. RECOMENDACIONES.

Para un mejor uso de material en la fabricación de bloques o ladrillos de cal, cemento, arena, arcilla y cascarilla de arroz se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Al extraer el material (adobe) se recomienda eliminar la capa vegetal del área.
2. El agua de mezclado será calculada en base a la humedad óptima indicada por los ensayos.
3. Se recomienda que el suelo se encuentre seco al ser mezclado con los agregados y aglomerantes, porque en caso contrario los materiales no se distribuirán uniformemente en toda la masa de la mezcla.
4. Si se llegasen usar ladrillos de adobe con los patrones, los aglomerantes y agregados, para la construcción de viviendas, están:
 - a. Quitar la capa orgánica superior al suelo en el lugar de la construcción y todo material esponjoso o suave, hasta llegar a un suelo firme.
 - b. El nivel del terreno de la construcción debe de estar el lugar alto que el resto de los lotes para que las aguas fluviales escurra en dirección opuesta a la casa.
 - c. Proteger las paredes de las lluvias para evitar la erosión.
 - d. Las paredes superiores exteriores deberán revestirse con un material protector como mortero, pintura o material bituminoso.

- e. Proporcionar suficientemente alero al techo para que el agua que escurra no lo haga por los lados de la pared.
 - f. Planear la vivienda compacta y rectangular con el propósito de reducir al mínimo el efecto de las sacudidas sísmicas.
 - g. Colocar una capa de mortero, después de la última hiladas de ladrillos o bloques para que vigas coronas no estén en contacto con ellas.
 - h. Si se usan columnas de maderas se recomienda colocar clavos en la cara de la columna que está en contacto con la pared, para lograr mayor adherencia entre pared y columna.
 - i. En el caso de que se usen máquinas para fabricar bloques o ladrillos, se recomienda que sea usada únicamente a nivel de comunidad porque de otra manera se elevaría el costo de fabricación de los bloques o ladrillos.
5. Usar el bloque o ladrillos de adobe estabilizados solamente para muros de cargas muertas, ya que fue estudiado solo para cargas verticales fijas.
6. Se recomienda usar bloques o ladrillos de tamaños pequeños o medios ya que no se necesitan grandes dimensiones.
7. Se debe de usar en la pared pesos de 21 kg/cm² como máximos.

CAPITULO VIII
CONCLUSIONES

8.1. Conclusiones.

1. El sector se caracteriza por el poco desarrollo industrial y económico, sin embargo genera productos destinados a la construcción, para los sectores menos privilegiados (viviendas, escuelas, centros de salud) proyectos de saneamiento (pozos sépticos) o de otra índole.

2. Los centros de producción, se caracterizan por la poca o ninguna promoción de sus productos con mecanismos como la divulgación de persona a persona, tarjetas de presentación, páginas web y correos electrónicos en muy pocos casos. Así mismo hace poco o ningún uso de controles financieros y/o administrativos, reducida implementación del sistema de seguridad social en sus planteles y el desconocimiento de políticas y normativas vinculadas a su quehacer operativo.

3. Los principales productos de barro elaborados en Nicaragua son: ladrillo tipo bloque de diferentes medidas, ladrillos para piso, la teja de barro, las fachaletas y el ladrillo utilizado para actividades de saneamiento, sin embargo los productos más demandados son *ladrillos y tejas*.

4. El proceso de producción de ladrillos cumple con tres etapas, que incluyen nueve pasos:

Extracción de arcilla y tierra, mezcla y preparación de tierra, moldeado, secado, carga del horno, cocción o quema, enfriamiento, descargue, clasificación y traslado a galeras o patios. Todas y cada una de las actividades son elaboradas de forma artesanal (manual).

5. Las principales normas, leyes y reglamentos que afectan a este sector son:

Reglamento técnico de la Construcción (RTC), Política Nacional Sobre Gestión Integral de Residuos Sólidos, Norma Técnica Ambiental Para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de Los Desechos Sólidos No-Peligrosos, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Reglamento de la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Ley No. 559 Ley 116.

Especial de Delitos Contra el Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Ley General de Higiene y Seguridad del Trabajo, Ley de Seguridad Social, Reglamento De La Ley general De Higiene Y Seguridad Del Trabajo Decreto No. 96-2007, Normativas Municipales de La Paz Centro, Convenio de Delegación de funciones entre el Ministerio de Fomento industria y Comercio y la Alcaldía Municipal de La Paz Centro, Ordenanza para la protección y uso del suelo del Municipio de Yalagüina y de las áreas donde se fabrican los ladrillos y bloques de adobes.

Sin embargo no existe un seguimiento exhaustivo de las instituciones que garantice el cumplimiento de estas leyes y normas, lo cual no ha permitido que exista cambios sustantivos en el sector ladrillero, que garantice la calidad del producto, el desarrollo empresarial y el bienestar de los trabajadores.

6. En Nicaragua los planteles pueden clasificarse en tres categorías, considerando los siguientes parámetros:

- a) Tenencia de la tierra, que le permita extraer de la propiedad, la materia prima (arcilla, leña, agua), le facilite estar habilitado con servicios básicos (agua, energía eléctrica y teléfono).
- b) Poseer transporte para prestar servicios a sus compradores.
- c) Realizar control de calidad de los productos que elabora, considerando el tipo de horno que posee y del lugar que permite el secado al aire libre el producto elaborado.
- d) Enfocarse en actividades de gestión interna como llevar contabilidad de costos e ingresos y la promoción de las ventas de sus productos.

7. En cada departamento y municipio existen mezclas de arcilla con otro tipo de material diferentes tales como:

1.1 Arcilla negra y roja

1.2 Arcilla y arena

1.3 Arcilla y estiércol de ganado

1.4 Arcilla y aserrín

1.5 Arcilla, aserrín y cascarilla de arroz

1.6 Arcilla blanca y arcilla negra

Concluyéndose que las mejores calidades se obtienen donde solamente se mezclan diferentes tipos de arcilla.

8. Durante la etapa de quema el noventa y siete por ciento (97%) de los productores afirman tener pérdidas, por falta de cocción o exceso de quema.

9. El cincuenta y nueve por ciento (59%) de las empresas señalan que en conjunto pierden entre cinco y diez por ciento de la producción en esta fase.

10. Los principales combustibles que pueden sustituir el uso de la leña, son aserrín, cascarilla de arroz y cascarilla de café, Estos desechos se generan principalmente en Matagalpa, Jinotega, Nueva Segovia y Madriz.

11. El sector ladrillero de Nicaragua, es considerado por la banca nacional como un sector informal, que no está sujeto a líneas de crédito para financiamiento de sus actividades económicas, con excepción de PROCREDIT. Sin embargo las micro financieras en las zonas, están apoyando a este sector artesanal, aunque con fuertes condicionantes o requisitos, que para algunos microempresarios son difíciles de cumplir.

12. En el eslabón comercial, los compradores que caracterizan al sector se dividen en tres grupos: compradores directos, instituciones gubernamentales (proyectos), intermediarios y exportadores.

13. Los principales productos que actualmente compiten con bloques, ladrillos y tejas de arcilla son: Paneles COVINTEC, láminas Gypsum, láminas plywood, bloques de concreto, láminas de zinc, láminas de tejas, planchas de techos, y ladrillos de cerámicas entre otros.

CAPITULO IX

RECOMENDACIONES

9.1. RECOMENDACIONES CON RESPECTOS A ELABORACION DE BLOQUES DE ARCILLA. (Ver anexos página. 249).

Dadas las condiciones de operación de las ladrilleras artesanales se hace necesaria una intervención integral para el logro general de un ambiente saludable en el entorno donde estas se desarrollan.

9.1.1 Mejora tecnológica

La mejora tecnológica debe enmarcarse en todas y cada uno de las fases de la cadena de producción y en la mejora de la calidad y presentación del producto final.

Antes de introducir nuevas tecnologías, se deben evaluar factores sociales, técnicos y económicos de la propuesta para garantizar el éxito y sostenibilidad de las mismas.

Al inicio las mejoras deben ser simples (cambios en la homogenización de mezclas), para pasar posteriormente a lo más complejo que implica el uso de maquinaria, control de calidad, análisis de laboratorio, y demás factores implícitos en la actividad.

Es necesario realizar estudios de suelos para conocer el tipo de arcilla que se utiliza para elaborar bloques o ladrillos y determinar si es la óptima para esos fines o necesita algún tipo de mezcla para maximizar su potencial.

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que ella influye directamente en las propiedades de los productos obtenidos.

Por ejemplo, arcillas con alto contenido de caolinita van a permitir obtener productos con carácter refractario, coloración clara y buena resistencia mecánica, mientras que altos contenidos de illita y montmorillonita confieren alta plasticidad, lo que se traduce en un fácil conformado de las piezas, pero también en una gran

contracción de las mismas durante el secado y el sintetizado, lo cual puede llevar a la formación de grietas en tales casos se debe agregar material desgrasante (arena) para ajustar su plasticidad.

El Impulso a través del Ministerio de Economía Familiar y las Alcaldías Municipales la elaboración y oficialización de guías de Buenas Prácticas de Manufactura para las Ladrilleras (Cartilla o ABC del Ladrillero), buscando adaptarlo a las particularidades de cada zona de Nicaragua.

9.1.2 Involucramiento del sector estatal en el mejoramiento tecnológico

Convocar a instituciones del estado que puedan dar respuesta en capacitación, formación técnica, organización de los ladrilleros, para formar mesas de trabajo que respondan a sus necesidades de forma integral.

9.1.3 Fortalecimiento de la capacidad técnica de los Ladrilleros

En este contexto se debe fortalecer las capacidades técnicas de los ladrilleros en temas de gestión, administración de negocios, negociaciones comerciales, mercadeo y ventas.

Sensibilización y capacitación sobre calidad ambiental, salud ocupacional, género, y asociatividad.

9.1.4 Concientización ciudadana

Las alcaldías municipales deben realizar un trabajo previo (antes de cualquier eventualidad) para despertar la conciencia ciudadana sobre aspectos ambientales, rol de la mujer y la niñez en la empresa y la comunidad, convivencia en comunidad, que contribuya a impulsar un ambiente sin contaminantes.

9.1.5 Fomentar el acercamiento y diálogo entre ladrilleros y autoridades municipales

Este acercamiento debe fomentar confianza entre los actores involucrados y generar incentivos (como exoneración de impuestos por determinado período, que puede ser de 1 a 2 años) que permitan promover la legalización de las pequeñas y medianas empresas ladrilleras, para constituirse en un sector formal.

9.1.6 Impulsar el uso de bosques manejados con planes de manejo forestal

En caso que se decidan seguir usando leña como insumo para la quema o cocción se recomienda que estos deben contar con abastecimiento propio o leña de bosques manejados en las comunidades, con planes de manejo forestal aprobados por INAFOR, proponiendo especies forestales de rápido crecimiento que no provoquen grandes cantidades de humo.

Estimular el uso de controles de cantidades producidas y pérdidas, Para la determinación de costos de producción es necesario llevar controles de:

- Cantidad de arcilla utilizada por cada 1000 ladrillos.
- Número de ladrillos moldeados por día por hombre.
- No ladrillos labrados/día.
- Toneladas de leña, cáscara de arroz o café, aserrín por cada mil ladrillos cocidos.
- Porcentaje real de ladrillos rotos o crudos sobre cocidos, por quema o secados al sol.
- Toneladas o metros cúbicos de escombros arrojados al mes (Ton (m3) de escombros/ mes) para conocer la generación de desechos sólidos y determinar el volumen de pérdidas en el proceso.

CAPITULO X

BIBLIOGRAFIA

10.1. Bibliografía.

- ❖ Crespo, Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, (1998), cuarta Edición. Editorial Limusa, S.A., Paginas 29-36.
- ❖ Juárez Badillo y Rico Rodríguez, Fundamento de la Mecánica de Suelos, Tomo I, (2000), Editorial LIMUSA, S.A., Paginas 613-616.
- ❖ Bertrán, George E., Ensayos de Suelos Fundamentos para la Construcción, (1981), Paginas 31-35.
- ❖ A.S.T.M. D 420.
- ❖ A.A.S.H.TO. T 86.
- ❖ A.S.T.M. D 421.
- ❖ A.A.S.H.T.O. T 87.
- ❖ Crespo, Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, (2004), Cuarta Edición, Editorial LIMUSA, S.A, Paginas 37-40.
- ❖ A.S.T.M. D 422.
- ❖ A.A.S.H.T.O. T 88.
- ❖ Bowles, Joseph, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, (1981),
- ❖ Segunda edición, Editorial McGraw-Hill, Experimento No 5.
- ❖ Ministerio de obras públicas de Chile, Curso Laboratorista Vial, Volumen I,
- ❖ Geotecnia, (1985), pagina 51.
- ❖ El sistema de clasificación de los suelos.
- ❖ Jiménez Salas, 1975.

Robert L. Peurifoy. Estimación de costos de construcción. Editorial Diana.

Lawrence Matthews. Estimación de costos de producción- manual práctico, Editorial McGraw Hill.

Suárez Salazar. Costo y Tiempo de edificación. Editorial LIMUSA, tercera edición 2002.

<http://www.cuevadelcivil.com/2010/06/presupuesto-de-obra.html>

<http://www.presupuestoobrasciviles.blogspot.com/>

CAPITULO XI.

ANEXOS

11.2. Viene de página 22. (ORIGEN Y LOCALIZACION DE LAS ARCILLAS).

Foto No. 229. Banco de arcilla (Rio viejo, finca El Naranjo, Sebaco).



El principal cuello de botella en esta etapa está referido al tipo de suelo, donde realizan las extracciones, debido que no siempre el material extraído es cien por ciento (100%) arcilla pura, sino que en aproximadamente un veinte y cinco por ciento (25%)¹⁵ es material de desecho (piedras y rastrojos).

Este comportamiento lo exteriorizan los diferentes productores del territorio nacional, aunque en menor medida los de La Paz Centro.

11.3 Viene de la pág. 128.

(7.4 PROCEDIMIENTOS Y PRUEBAS; y 7.4.1 Elaboración de los especímenes de dosificación de la arcilla, cascarilla de arroz, arena, cal y cemento.)

(Tablas 49, 50 51, 52, 53, 54).

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, CAL Y ARENA.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cemento kg	Cal kg	Arena kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Tablas No. (55, 56, 57, 58, 59, 60)

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, ARENA.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua MI
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua MI
4.898 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.898 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.898 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.898 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua MI
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua MI
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua MI
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cemento kg	Arena Kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Tablas No. (61, 62, 63, 64, 75, 66)

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CEMENTO, CAL.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.858kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cemento kg	Cal Kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Tablas No. (67, 68, 69, 70, 71, 72).

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL, ARENA.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cal kg	Arena Kg	Agua ml
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	0.562 kg	1.151 ml

Tabla No. (73, 74, 75, 76, 77, 78).

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, CAL.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cal kg	Agua MI
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cal kg	Agua MI
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cal kg	Agua MI
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cal kg	Agua MI
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cal kg	Agua MI
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cal kg	Agua MI
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Tabla No. (79, 80, 81, 82, 83, 84).

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ. CEMENTO.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Cemento kg	Agua MI
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Cemento kg	Agua MI
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Cemento kg	Agua MI
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Cemento kg	Agua MI
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Cemento kg	Agua MI
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Cemento kg	Agua MI
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Tabla No. (85, 86, 87, 88, 89, 90).

ARCILLA, CASCARILLA DE ARROZ, ARENA.

Arcilla 97.50%	Cascara de arroz 2.50%	%	Arena kg	Agua MI
4.986 kg	0.025 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.986 kg	0.025 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 95.00%	Cascara de arroz 5.00%	%	Arena kg	Agua MI
4.858 kg	0.255 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.858 kg	0.255 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 92.50%	Cascara de arroz 7.50%	%	Arena kg	Agua MI
4.730 kg	0.383 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.730 kg	0.383 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 90.00%	Cascara de arroz 10.00%	%	Arena kg	Agua MI
4.602 kg	0.511 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.602 kg	0.511 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 87.50%	Cascara de arroz 12.50%	%	Arena kg	Agua MI
4.474 kg	0.639 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.474 kg	0.639 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

Arcilla 85.00%	Cascara de arroz 15.00%	%	Arena kg	Agua MI
4.346 kg	0.767 kg	5%	0.255 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	7%	0.358 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	9%	0.460 kg	1.151 ml
4.346 kg	0.767 kg	11%	0.562 kg	1.151 ml

11.4. RECOMENDACIONES CON RESPECTOS A ELABORACION DE BLOQUES DE ARCILLA. (Viene de pág. 232).

1. Selección del material.

Foto No. 230. Arcilla, arena y cascarilla de arroz.



Adobe, cascarilla de arroz, cal, arena y cemento

2. Elaboración del molde 14x8x4

Foto No. 231. Molde de madera para bloques.



3. Preparacion y mezcla de materiales aglomerantes y agregados.

Fotos No. 232, 233, 243



Mezclas y relleno a los moldes.

4. Secado al sol.

Foto No. 235. Bloques secados al sol.



Bloques secados por tres días siete días máximo.

5. resultado ya terminado.

Foto No. 236. Producto de un bloque terminado.



Resultado del bloque ya seco.