

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **FACTIBILIDAD DEL USO DE LODOS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN LA MARIPOSA, PREVIAMENTE ACONDICIONADO CON TRATAMIENTO TERMICO, PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL**

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:

Waldroph R., Walfred A.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2010

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **FACTIBILIDAD DEL USO DE LODOS DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN LA MARIPOSA, PREVIAMENTE ACONDICIONADO CON TRATAMIENTO TERMICO, PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Trino Baloa

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:

Waldroph R., Walfred A.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2010

## INDICE

CAPITULO I .....	1
1.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.2.-OBJETIVOS .....	23
1.2.1-OBJETIVO GENERAL .....	23
1.2.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
1.3.- JUSTIFICACIÓN Y APORTES.....	24
CAPITULO II .....	25
2.-MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.-Proceso de tratamiento del agua.....	26
2.2.-Coagulación.....	28
2.2.1.-Coagulantes. ....	29
2.2.1.2.- Cloruro férrico $FeCl_3$ ; .....	30
2.2.1.3 Sulfato ferroso $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ :.....	31
2.3.- Flocculación. ....	31
2.4.-Características físico-químicas de los lodos procedentes de una Planta de Tratamiento de Potabilización de Agua.....	32
2.4.1-Grado de humedad del lodo:.....	33
2.5.-Mortero de Cemento.....	33
2.6.-Cemento Portland. ....	33
2.6.1.- Composición química del Cemento Portland. ....	33
2.6.2.-Clasificación del cemento, según su uso. ....	34
2.6.2.1.- I Normal.....	34
2.6.2.2.- II Moderado. ....	34
2.6.2.3- III Altas resistencias. ....	34

2.6.2.4.- IV Bajo calor de hidratación.....	34
2.6.2.5.- V Resistente a la acción de los sulfatos.....	34
2.7.-Concreto.....	35
2.8.-Diseño de mezclas.....	35
2.9.-Características del concreto fresco.....	36
2.10.-Reología.....	36
2.10.1.-Fluidez.....	37
2.10.2.- Compactabilidad.....	37
2.10.3.- Estabilidad a la segregación.....	37
2.10.4.- Trabajabilidad.....	38
2.11.- Cono de Abrams.....	38
2.12.- Barra compactadora.....	39
2.13.- Medición de asentamiento con el cono de Abrams.....	39
CAPITULO III.....	40
3.-METODO.....	40
3.1.-Recolección de la muestra de lodo.....	40
3.2.-Secado de la muestra de lodo.....	41
3.3.- Eliminación de materia orgánica del lodo.....	42
3.4.-Discretización de los terrones de lodo.....	44
3.5.-Disminución de la materia orgánica del lodo.....	44
3.6.- Determinación del porcentaje de absorción del lodo, previamente acondicionado, por tratamiento térmico.....	45
3.7.-Cálculo del contenido de humedad de los agregados.....	49
3.8.- Diseño de mezcla.....	50
3.9.-Verificación del diseño de mezcla.....	56
3.10.-Preparación de las probetas cilíndricas definitivas.....	62

3.11.- Determinación de la granulometría del lodo, por lavado y tamizado .	69
CAPITULO IV.....	70
4.-RESULTADOS Y ANALISIS. ....	70
4.1.- Secado de la muestra. ....	70
4.2.- Materia orgánica.....	70
4.3.- Cálculo del contenido de humedad de los agregados. ....	71
4.4.- Cálculo del porcentaje de absorción del lodo.....	72
4.5.- Trabajabilidad.....	74
4.6.-Análisis de granulometría e índice de consistencia. ....	75
4.7.- Corroboración del diseño de mezcla. ....	77
4.8.- Ensayos a compresión. ....	78
4.8.1.-Cilindros Patrón. ....	78
4.8.2.-Cilindros con un contenido de 10% de lodo. ....	82
4.8.3.-Cilindros con un contenido de 20% de lodo. ....	85
4.8.5.-Cilindros con un contenido de 50% de lodo. ....	91
4.8.6.-Resitencias promedios. ....	94
4.9- Pesos promedios. ....	97
PESO PROMEDIO DE MEZCLAS A 7 DIAS .....	97
CAPITULO V .....	98
5.1-CONCLUSIONES. ....	98
5.2.-RECOMENDACIONES.....	100
ANEXOS.....	87

## INDICE DE TABLAS.

Contenido de Materia Orgánica del lodo de la P.T. La Mariposa TABLA 4.1	51
Contenido de Humedad de la arena TABLA 4.2.1	52
Contenido de Humedad de la piedra TABLA 4.2.2	53
Calculo de absorción del Lodo TABLA 4.3	53
Cantidades de cada uno de los materiales de la mezcla de concreto.	
TABLA 4.4	54
Cantidades definitivas de cada uno de los materiales de la mezcla de concreto.	
TABLA 4.5	55
Asentamiento de las mezclas TABLA 4.6	55
<i>Granulometría del lodo.</i> TABLA 4.7.1	56
<i>Porcentajes de pasantes</i> TABLA 4.7.2	56
<i>Clasificación del lodo según el Sistema unificado de clasificación de Suelos</i> TABLA 4.7.3	56
Dimensiones de cilindros ensayados a los 5 días, (Diseño de mezcla).	
TABLA 4.8.1-A	58
TABLA 4.8.1-B	58
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 5 días, (Diseño de mezcla). TABLA 4.8.2	59
Dimensiones de cilindros ensayados a los 7 días, sin sustitución de agregado fino por lodo (cilindros patrón).	
TABLA 4.9.1-A	59

TABLA 4.9.1-B .....	59
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 7 días, sin sustitución de agregado fino por lodo cilindros patrón. TABLA 4.9.2.....	60
Dimensiones de cilindros ensayados a los 28 días, sin sustitución de agregado fino por lodo (Cilindros patrón).	
TABLA 4.10.1-A.....	61
TABLA 4.10.1-B.....	61
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 28 días, sin sustitución de agregado fino por lodo (Cilindros patrón). TABLA 4.10.2.....	62
Dimensiones de cilindros ensayados a los 7 días, con 10% de sustitución de agregado fino por lodo.	
TABLA 4.11.1-A.....	63
TABLA 4.11.1-B.....	63
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 7 días, con 10% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.11.2.....	63
Dimensiones de cilindros ensayados a los 28 días, con 10% de sustitución de agregado fino por lodo.	
TABLA 4.12.1-A.....	64
TABLA 4.12.1-B.....	64
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 28 días, con 10% de Sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.12.2.....	65

Dimensiones de cilindros ensayados a los 7 días, con 20% de sustitución de Agregado fino por lodo.

TABLA 4.13.1-A.....66

TABLA 4.13.1-B.....66

Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 7 días, con 20% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA. 4.13.2.....66

Dimensiones de cilindros ensayados a los 28 días, con 20% de sustitución de agregado fino por lodo.

TABLA 4.14.1-A.....67

TABLA 4.14.1-B.....67

Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 28 días, con 20% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.14.2.....68

Dimensiones de cilindros ensayados a los 7 días, con 30% de sustitución de agregado fino por lodo.

TABLA 4.15.1-A.....69

TABLA 4.15.1-B.....69

Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 7 días, con 30% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.15.2.....69

Dimensiones de cilindros ensayados a los 28 días, con 30% de sustitución de agregado fino por lodo.

TABLA 4.16.1-A.....70

TABLA 4.16.1-B.....70

Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 28 días, con 30% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.16.2.....	71
Dimensiones de cilindros ensayados a los 7 días, con 50% de sustitución de agregado fino por lodo.	
TABLA 4.17.1-A.....	72
TABLA 4.17.1-B.....	72
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 7 días, con 50% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.17.2.....	73
Dimensiones de cilindros ensayados a los 28 días, con 50% de sustitución de agregado fino por lodo.	
TABLA 4.18.1-A.....	73
TABLA 4.18.1-B.....	74
Calculo de resistencia de cilindros ensayados a los 28 días, con 50% de sustitución de agregado fino por lodo. TABLA 4.18.2.....	74
Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) TABLA 4.19.1.....	75
Peso promedio de mezclas a 28 días TABLA 4.20.1.....	78
Peso promedio de mezclas a 28 días TABLA 4.20.2.....	78

## ÍNDICE DE IMÁGENES Y GRÁFICOS

Esquema 1.- Esquema convencional de planta de potabilización.....	9
Fig. 3. 1. Embases con lodo. Cumana Edo. Sucre.....	21
Fig. 3. 2. Descarga de los embases. Cumana Edo. Sucre.....	21
Fig. 3. 3. Extendido del lodo. Cumana Edo. Sucre.....	22
Fig. 3. 4. Extendido del lodo. Cumana Edo. Sucre.....	22
Fig. 3. 5. Almacenaje de lodo. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	22
Fig. 3. 6. Termómetro y horno de secado IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	22
Fig. 3. 7. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de secado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	23
Fig. 3. 8. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de secado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	23
Fig. 3. 9. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de incineración. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	23
Fig. 3. 10. Bandeja con lodo, colocada en horno de Incineración IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	23
Fig. 3. 11. Horno de incineración a 650°C. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	26

Fig. 3. 12. Colocación de la muestra en horno de incineración a 650°C.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	26
Fig. 3. 13. Pesaje de la muestra de lodo. IMME UCV.	
Caracas, Distrito Capital.....	27
Fig. 3. 14. Preparación de la muestra. IMME UCV.	
Caracas, Distrito Capital.....	27
Fig. 3. 15. Muestra saturada. IMME UCV.	
Caracas, Distrito Capital.....	27
Fig. 3. 16. Medición de moldes de acero inoxidable.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	28
Fig. 3. 17. Preparación del Molde de acero inoxidable.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	28
Fig. 3. 18. Pesaje del Molde de acero inoxidable.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	28
Fig. 3. 19. Preparación de la muestra en moldes de acero inoxidable.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	28
Fig. 3. 20. Preparación de la muestra en moldes de acero inoxidable.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	28
Fig. 3. 21. Extracción de los vacíos de las muestras contenidas en los moldes de acero inoxidable. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	29
Fig. 3. 22. Pesaje moldes de acero inoxidable con las muestras.	
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	29

Fig. 3. 23. Colocación de los moldes de acero inoxidable en la mufla de secado a 110°C IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	30
Fig. 3. 24. Colocación de los moldes de acero inoxidable en la mufla de secado a 110°C. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	30
Fig. 3. 25. Muestras secas en moldes de acero inoxidable. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	30
Fig. 3. 26. Pesaje de muestras secas en moldes de acero inoxidable. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	30
Fig. 3. 27. Molde engrasado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	40
Fig. 3. 28. Molde engrasado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	40
Fig. 3. 29. Elaboración de los cilindros. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	41
Fig. 3. 30. Compactación de los cilindros. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	41
Fig. 3. 31. Desencofrado de los cilindros. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	41
Fig. 3. 32. Desencofrado de los cilindros. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	41
Fig. 3. 33. Preparación de los cilindros para ser ensayados. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	42
Fig. 3. 34. Preparación de los cilindros para ser ensayados. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	42

Fig. 3. 35. Cilindro ensayado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	43
Fig. 3. 36. Cilindro ensayado. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	43
Fig. 3. 37. Preparación del cono de Abrams. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	45
Fig. 3. 38. Compactación de la muestra del cono de Abrams. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	45
Fig. 3. 39. Cono de Abrams. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	46
Fig. 3. 40. Medición del asentamiento. IMME UCV. Caracas, Distrito Capital.....	46
Grafica 1. Granulometría.....	59
Grafica 2. Resistencia a compresión de cilindros patrón.....	64
Grafica 3. Resistencia a compresión de cilindros con un contenido de 10% de lodo.....	67
Grafica 4. Resistencia a compresión de cilindros con un contenido de 20% de lodo.....	70
Grafica 5. Resistencia a compresión de cilindros con un contenido de 30% de lodo.....	73
Grafica 6. Resistencia a compresión de cilindros con un contenido de 50% de lodo.....	76
Grafica 7. Resistencias promedios obtenidas en los ensayos realizados a los 7 días y a los 28 días .....	77

**Waldroph R. Walfred A.**

**FACTIBILIDAD DEL USO DE LODOS DE LA PLANTA DE  
POTABILIZACIÓN LA MARIPOSA, PREVIAMENTE  
ACONDICIONADO CON TRATAMIENTO TERMICO, PARA LA  
ELABORACIÓN DE CONCRETO ESTRUCTURAL.**

**Tutor Académico: Prof. Trino Baloa.**

**Trabajo Especial de Grado. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Ingeniería Civil. 2009, n° pág. 104.**

**Palabras Claves:** Lodo, diseño de mezcla, contaminación, ambiente, concreto estructural, potabilización.

**Resumen.**

En este trabajo se elaboraron y ensayaron mezclas de concreto, en las cuales se sustituyó agregado fino, por porcentajes de lodos previamente acondicionados por tratamiento térmico, con niveles de materia orgánica aceptados por la norma COVENIN 277-2000, con el objeto de estudiar su factibilidad en la elaboración de concreto estructural. Estas mezclas de concreto se han planteado en busca de soluciones para la reutilización de lodos provenientes de los sedimentadores de la planta de potabilización la Mariposa. Para ello se utilizó 1200 litros de lodo extraído de los sedimentadores de la Planta de Potabilización la Mariposa, el cual después de ser deshidratado, triturado y determinado su contenido de materia orgánica inicial, se procedió a través de un tratamiento térmico, a disminuir dichos niveles a unos aceptados por la norma COVENIN 277-2000, para de esa manera utilizar el lodo como sustituto parcial del agregado fino en mezclas de concreto, con una resistencia de diseño de  $250 \text{ kgf/cm}^2$ . Las mezclas elaboradas presentaron niveles de sustitución de agregado fino por lodo de 10%, 20%, 30% y 50%, las cuales después de ser elaboradas, fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión. De los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las 5 mezclas,

ninguna alcanzó la resistencia de diseño y se observó que a medida que aumentaba la cantidad de lodo en la mezcla disminuía considerablemente la resistencia, siendo la mezcla realizada con un 10% de sustitución de agregado fino por lodo, con 204,13 kgf/cm<sup>2</sup> de resistencia promedio, la que presentó el nivel más alto de resistencia a los 28 días. Por tanto, no se considera muy factible el uso de este lodo como agregado de fino en la elaboración de mezclas de concreto, debido a la presencia de partículas tan finas en el lodo que implica una mayor cantidad de pasta de cemento para lograr la resistencia esperada, aumentando considerablemente los costos. Por último, se recomienda el estudio de factibilidad del lodo como material de construcción en otras áreas, tales como la elaboración de bloques, uso de mortero de cemento para revestimiento de paredes, concreto pobre en obras civiles, entre otros.

## **DEDICATORIA**

Primero Dios, ese ser supremo que me ha dado vida, salud, sabiduría, entendimiento, fortaleza, que me bendice en todo momento y me ayuda a vencer día a día los obstáculos que en la vida se me presentan.

A mis padres Abigail Waldroph y Luisa Rivero, a mi esposa Vivian Bermúdez y a mis hermanos Walkenys y Walker Waldroph, por su apoyo incondicional, y porque han sido piezas fundamentales e indispensables para llegar a este momento.

A todos mis compañeros, que estuvieron desde el principio hasta hoy, y que estoy seguro, seguirán estando ahí, por todo su apoyo y colaboración en este trabajo.

## AGRADECIMIENTO

Debido a que desafortunadamente, el tiempo transcurrido desde mi ingreso a esta prestigiosa universidad, UCV, hasta este momento, fue muy largo, considero lo más lógico, agradecer a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a que este momento fuera realidad.

En primer lugar a mis padres, Luisa Rivero y Abigail Waldroph, que aun y cuando en muchas ocasiones se que les quite el sueño, siempre me apoyaron y estuvieron allí, y siguen allí, aconsejándome, guiándome y ayudándome a levantar para seguir adelante por mis metas.

A Vivian Bermúdez, mi mejor amiga, novia y esposa, por estar ahí en las buenas, en las malas, en las peores y en el fondo, de donde me ayudó a impulsarme y salir victorioso, gracias por tu apoyo incondicional, te amo mucho princesa.

A mi tía Justina, Sorylennys y Luis Antonio, quienes me recibieron en esta ciudad, cuidando de mi y protegiéndome siempre. Gracias de corazón por su apoyo.

A mis hermanos Walker y Walkenys Waldroph, por siempre estar allí brindándome su compañía y apoyo en todo momento. Los quiero mucho y me siento muy orgulloso de ustedes.

A Oscar Almiron y Elías Charrabe, por estar desde ese primer día de clases, hasta hoy, cuidarme, apoyándome y ayudándome como lo haría un hermano más, y así los considero. Los quiero muchachos.

A la Sra. Nancy Alcover, por recibirme en su casa, más que como un inquilino, como parte de su familia y de una u otra forma siempre allí, brindándome su apoyo y amistad.

A la Profesora Luisa María y Auristela Magallanes, por brindarme esa orientación académica, en el momento justo, y por haberme ayudado a encontrar mi verdadera vocación como Ingeniero Civil.

A mi Profesora, Profesora-Consejera, Jefa y mucho más que eso, mi amiga, María Rincones, por toda su paciencia, apoyo y amistad. Sigo en deuda con usted profesora, muchas gracias.

A mis compañeros de clases, que siempre estuvieron ahí, ofreciéndome su ayuda sin ningún interés, apoyándome cuando siempre los necesite, Yeison Palma, Yohanna Vásquez y Melissa Hernández, gracias por su apoyo.

A mi tutor, Profesor Trino Baloa, por estar allí en todo momento, cuando necesite hablar con alguien, no solo de mi investigación sino de mi vida. Por su apoyo en el desarrollo de todo este arduo trabajo de investigación, sin importar hora ni día. De corazón muchísimas gracias profesor.

Al Tec. Elionel B., Al Ing. Diwal Torres, al Profesor Henry Blanco, al Profesor Cesar Peñuela, a la Ing. Daniela R. y demás personal de la planta de potabilización La Mariposa, por su apoyo y colaboración prestada.

A Willy Zambrano, Yanina Socha, Jose Manuel Diaz, Naillett Sotillo y a Christian Huanca, gracias por su ayuda en la elaboración de los elementos a ensayar y por hacer mis vacaciones más amena, los quiero un mundo.

A la Sra. Vivian Rodriguez, por permitirme usar el techo de su casa para secar el lodo.

A mis primos Edwar, Keny y Edwin, a mis amigos Aquimir y Hugo por toda su ayuda.

A todos los profesores que a lo largo de mi formación profesional me transfirieron parte de sus enormes conocimientos, con la mejor disposición, dándome la mejor formación profesional y humana, poniendo en alto el renombre de nuestra casa de estudio.

Por último, pero no menos importante, a los obreros y personal administrativo que dan vida a estas tres letras que tiene mucho significado para el país, para el mundo y para mí, U.C.V, la gloriosa casa que vence las sombras, que fue mi cuna, mi guía, y quien me hizo crecer como persona, formarme como profesional y darme las herramientas para ser quien soy hoy en día y un mejor hombre y profesional en el futuro, de corazón gracias.

## INTRODUCCIÓN.

En un intento, de garantizar la calidad de las aguas aptas para el consumo humano, en Venezuela existen un número importante de plantas de tratamiento de agua potable, distribuidas a lo largo del territorio nacional, produciendo una cantidad bastante considerable de lodos. Entre esas numerosas plantas existentes en Venezuela, se encuentra la planta de potabilización la Mariposa, la cual es la encargada del abastecimiento de agua potable de una parte de a la ciudad de Caracas.

En este trabajo se plantea elaborar y ensayar mezclas de concreto, en las cuales se sustituirá agregado fino, por porcentajes de lodos previamente acondicionados por tratamiento térmico, con niveles de materia orgánica aceptados por la norma COVENIN 277-2000, con el objeto de estudiar su factibilidad en la elaboración de concreto estructural. Estas mezclas de concreto se han planteado en busca de soluciones para la reutilización de lodos provenientes de los sedimentadores de la planta de potabilización la Mariposa.

Esto debido actualmente en Venezuela, salvo algunas escasas excepciones, estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento ocasionando daños al medio ambiente.

## **CAPITULO I**

### **1.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua potable es un recurso indispensable para la vida y el estado venezolano ha adelantado esfuerzos con la intención de lograr el cumplimiento de las metas trazadas en la Cumbre del Milenio, realizada en Septiembre del 2000, en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York, como fue reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable. Efectivamente Venezuela según cifras del Ministerio del Ambiente logró entre 1990 y 2007 incrementar de 68 a 92% el porcentaje de personas con acceso sostenible al agua potable (MINCI, 2008).

En un intento, de garantizar la calidad de las aguas aptas para el consumo humano, en Venezuela existen un número importante de plantas de tratamiento de agua potable, distribuidas a lo largo del territorio nacional, produciendo una cantidad bastante considerable de lodos. Entre esas numerosas plantas existentes en Venezuela, se encuentra la planta de potabilización la Mariposa, la cual es la encargada del abastecimiento de agua potable de una parte de a la ciudad de Caracas.

Tomando en cuenta los artículos 127, 128, 129 de la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, los cuales se refieren básicamente al derecho y deber que tiene cada generación de proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro, toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. Genera gran preocupación la cantidad de lodo producido al abastecer de este preciado líquido a toda la población, y que un alto porcentaje de las aguas que son sometidas a procesos de potabilización en Venezuela, son aguas superficiales, las cuales se caracterizan por poseer un alto contenido de sólidos suspendidos y coloides que son removidos a través del

proceso de coagulación- floculación y sedimentación, generando lodos químicos que suelen representar del 0,3% al 1% del agua tratada. (Sandoval, 2001)

Actualmente en Venezuela, salvo algunas escasas excepciones, estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento ocasionando daños al medio ambiente.

El problema principal que presentan estos residuos es su alto contenido de agua, además de su baja capacidad de deshidratación, particularmente aquellos que son producidos por el uso de sulfato de aluminio como coagulante. Su disposición sin tratamiento, origina la contaminación de fuentes superficiales o subterráneas y puede hacer la tierra estéril dándole una apariencia erosionada cuando se abandona o agota el lugar. (Sandoval, 2001)

Las características de los lodos de alúmina varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año. Sin embargo, poseen características básicas similares. El lodo de alúmina es un fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y otra materia orgánica e inorgánica removida del agua. El conocimiento de estas características es esencial para determinar su tratamiento y su disposición final. (Sandoval, 2001)

Por otra parte, los sólidos residuales de las plantas de tratamiento de agua pueden estar constituidos por sólidos suspendidos con bastante contenido orgánico. Todas éstas características provocan que el lodo sea insoluble a pH natural, de fácil sedimentación, pero a una concentración que es inadecuada para su manejo conveniente y por consiguiente para relleno de tierra, muy

compresible. Pero resiste el paso del agua y tiene una composición que cuando se dispone en el suelo lo azolva (Arboleda, 1992).

Tomando en cuenta lo antes mencionado respecto a los lodos provenientes de los proceso de potabilización en conjunto con la cantidad de plantas de tratamiento de agua potable existentes en Venezuela y con base en los estudios desarrollados por Herrera R., 2006 el cual estudió el comportamiento mecánico de las mezclas de lodo-cemento para ser utilizadas como nuevo material de construcción y el trabajo elaborado por Márquez, 2009 el cual estudio nuevamente el comportamiento mecánico de las mezclas de lodo-cemento pero en esta oportunidad con bajos contenidos de materia orgánica, investigaciones las cuales presentaron inconvenientes con el desarrollo de resistencia y el tiempo de fraguado. En este estudio se propone, evaluar el potencial de estos lodos con la finalidad de usarlo como agregado fino en la elaboración de concreto estructural dándole un uso más apropiado, conforme a la necesidad de preservación del medio ambiente. Pero en esta ocasión, se someterán los mismos a una temperatura controlada, aproximadamente en el orden de 650 °C, con la intención de eliminar parcial o totalmente el contenido de la materia orgánica presente.

## **1.2.-OBJETIVOS**

### **1.2.1-OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el potencial del lodo generado en la planta de potabilización la Mariposa posterior a ser sometido a una temperatura controlada, como agregado fino en mezclas de concreto para uso estructural.

### **1.2.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Calcular las resistencias a compresión de cilindros de concreto, sustituyendo un porcentaje de la arena (10%,30% y 50%) por lodo de la planta de potabilización la Mariposa, previamente acondicionado térmicamente.
2. Analizar la resistencia de los cilindros de concreto estructural, elaborados con lodos de la planta de potabilización la Mariposa, previamente acondicionados térmicamente, de acuerdo a las normas de calidad vigentes.
3. Contrastar resistencias de cilindros ensayados a compresión, de un concreto estructural de  $250 \text{ kgf/cm}^2$  y un concreto que ha sido elaborado, sustituyendo un porcentaje de la arena (10%,30% y 50%) por lodo de la planta de potabilización la Mariposa, previamente acondicionado térmicamente.
4. Generar gráficas, usando como variables las dosificaciones de lodo (10%,30% y 50%) y la resistencia a compresión.
5. Comparar la variación en la calidad del concreto estructural, a medida que se realizan sustituciones de un porcentaje de la arena (10%,30% y 50%) por lodo de la planta de potabilización la Mariposa, previamente acondicionado térmicamente

### **1.3.- JUSTIFICACIÓN Y APORTES.**

Las actividades y ensayos a ser realizados en esta investigación son de gran importancia, debido a que intenta generar alternativas de solución para la problemática de la degradación ambiental, producida por el efecto causado por la falta de una correcta disposición de los lodos provenientes de las plantas de potabilización del agua.

Al mismo tiempo, este trabajo de investigación se espera que genere una serie de aportes, los cuales se menciona a continuación:

1.-Para la sociedad: Lograr un uso alternativo de estos lodos, generaría un verdadero desarrollo sustentable de los distintos recursos ambientales en Venezuela.

2.-Relevancia para la ciencia e ingeniería: Generar nuevas alternativas que permitan la creación de concreto estructural, que podría ser utilizado en la creación de nuevas soluciones habitacionales.

3.-A la institución: El uso de lodos de una planta de potabilización previamente acondicionado para la elaboración de concreto estructural, permitirá enriquecer la línea de investigación de nuevos materiales de construcción del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), además de que podría servir como antecedentes para futuros trabajos de investigación en los cuales se propongan abaratar los costos en la elaboración de mortero cemento utilizando lodos previamente acondicionados como agregado fino.

## CAPITULO II

### 2.-MARCO TEÓRICO

Según la organización de las Naciones Unidas, el agua es esencial para la vida, fundamental para el desarrollo sostenible, incluida la preservación del medio natural, el alivio de la pobreza y el hambre. Así como indispensable para la salud y el bienestar de los humanos.

Conocida la importancia que tiene el agua como solvente universal y señalando que, debido a esta propiedad, es capaz de transportar casi la totalidad de sustancias que encuentra a su paso. (CEPIS, 2004)

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una materia superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración. (CEPIS, 2004)

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

— El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

— El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, cantidad de partículas, entre otras. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada *mezcla rápida*. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas *flóculos*; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida. (CEPIS, 2004)

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. (CEPIS, 2004)

## **2.1.-Proceso de tratamiento del agua**

El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o calidad organoléptica no deseables y la transforma en un agua apta para consumir. (CEPIS, 2004)

Las Planta de Tratamiento de agua Potable (PTAP) es la instalación donde se lleva a cabo el conjunto de procesos de tratamiento de potabilización situados antes de la red de distribución y/o depósito, que contenga más unidades de tratamiento que una única desinfección. (CEPIS, 2004)

Para desarrollar el proceso de potabilización se llevan a cabo las siguientes secuencias:

**-Dique o toma:** Es el sitio de captación del afluyente que procede del río. Consta de una estructura en forma de rejilla, cuya función es la de retener objetos o materiales grandes.

**-Desarenadores:** Son tanques cuya ubicación está aguas abajo de la captación; el agua llega a ellos por medio de canaletas y su objetivo es retener arena y piedras, y en muchos casos se retienen material de desechos.

**-Mezcla Rápida:** Es el sitio donde se dosifican las diferentes sustancias o compuestos implícitos en la potabilización del agua, ocurriendo así el proceso o etapa de coagulación, donde el coagulante disminuye las fuerzas adversas a la aglomeración de los coloides o partículas (desestabilización). En este tanque se mezclan los compuestos antes mencionados puestos en suspensión, a una velocidad de agitación alta en un tiempo muy corto, de tal manera de lograr la dispersión de éstos en todo el depósito.

**-Mezcla Lenta:** En este tanque ocurre el proceso de floculación que se da a una velocidad de agitación baja y en un tiempo mayor, para que las partículas o coloides se aglomeren y formen flóculos. La etapa de floculación ocurre una vez neutralizadas casi todas las cargas de los coloides, por cargas inducidas por el coagulante (sulfato de aluminio) y los flóculos empiezan a ensancharse o a tomar mayor tamaño.

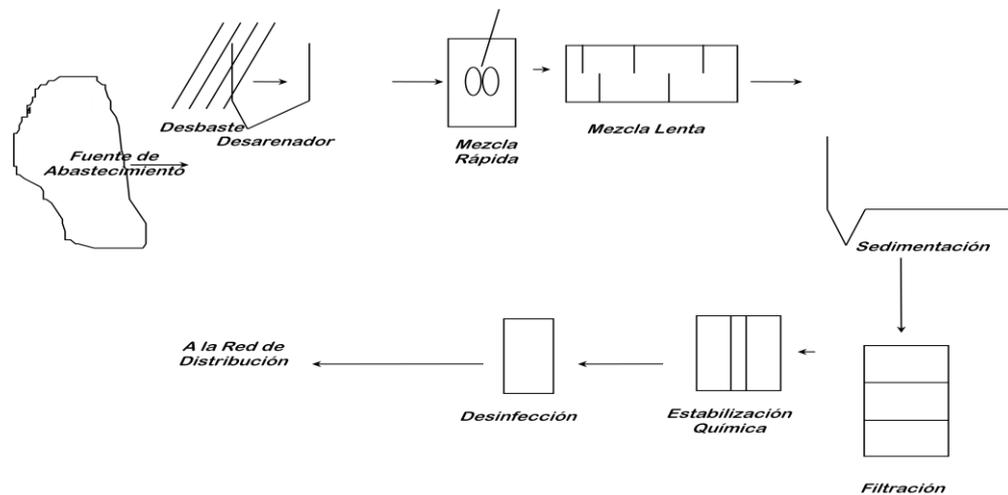
**-Sedimentadores:** Son tanques con dispositivos especiales donde las partículas, ya con un tamaño específico y provenientes del tanque anterior, sedimentan por gravedad formando un material que es enviado nuevamente al río (aguas abajo), mediante las válvulas del dren de dichos sedimentadores. El objetivo primordial de una buena sedimentación es lograr remover la turbiedad, tanto natural como coagulada.

**- Filtros:** El agua ya clarificada en los sedimentadores pasa a los filtros. Estos tanques presentan un lecho filtrante estratificado (arena, grava, pelotas de cerolita, antracita), en donde fluye en forma descendente, bajando el agua clarificada y quedando retenida en la última capa (arena fina), unidades de color, turbiedad y bacterias que no quedaron retenidas en los procesos anteriores. La filtración elimina casi la totalidad de sólidos y microorganismos restantes. Este material es removido mediante el lavado de filtros; el flujo del agua de lavado es ascendente,

con la finalidad de lograr que el lecho se expanda y poder eliminar así las impurezas que éstos puedan presentar y drenarlas río.

- **Acondicionamiento:** Corrección del pH por simple neutralización o por remineralización con cal y gas carbónico.

- **Desinfección final:** Con cloro, cloraminas, dióxido de cloro u ozono.(CEPIS, 2004)



(Blanco, 2006)

Fig. 2.1.- ESQUEMA CONVENCIONAL DE PLANTA DE POTABILIZACIÓN

## 2.2.-Coagulación

El proceso de coagulación, consiste en formar partículas mayores, que pueden ser eliminadas por sedimentación, a partir del material inicialmente dividido o de partículas coloidales.

La coagulación se realiza mediante la adición al agua de sustancias que tienen carga positiva, para neutralizar la carga negativa de los coloides. El resto

de la turbiedad formada por partículas mayores se adhiere a la masa gelatinosa del coágulo formado.

El coágulo formado tiene una densidad mayor que las partículas coloidales, por lo que resulta fácil su eliminación por sedimentación (CEPIS, 2004).

### **2.2.1.-Coagulantes.**

Los coagulantes más empleados son sales de aluminio o de hierro: sulfato férrico  $Fe_2(SO_4)_3$  y cloruro férrico ( $FeCl_3$ ), *sulfato de aluminio*  $Al_2(SO_4)_3$  y *cloruro de aluminio* ( $AlCl_3$ ). (CEPIS, 2004)

#### **2.2.1.1.- Sulfato de aluminio:**

Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ .

Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en  $Al_2O_3$ , es decir, 7% aproximadamente. La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de  $1.000 \text{ kgf/m}^3$ .

El contenido en alúmina  $Al_2O_3$  de la forma líquida fluctúa generalmente entre 8 y 8,5%; es decir, 48 a 49% en equivalente polvo o también 630 a 650 g de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  por litro de solución acuosa.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta esta tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear, por lo general, materiales de plástico. (CEPIS, 2004).

### *Otras especies alumínicas*

Se pueden emplear también otras sales de aluminio como el cloruro de aluminio y el aluminato sódico.

El cloruro de aluminio  $\text{AlCl}_3$  se presenta en forma sólida o líquida y se utiliza preferentemente esta última (masa volumétrica de  $1,29 \text{ kgf/dm}^3$ , equivalente a un contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 11,4%). (CEPIS, 2004)

#### 2.2.1.2.- Cloruro férrico $\text{FeCl}_3$ :

Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua.

La forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente, de fórmula teórica  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ . Se funde fácilmente en su agua de cristalización a  $34 \text{ }^\circ\text{C}$ , por lo que es necesario protegerla del calor.

La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de  $\text{FeCl}_3$ . Para evitar toda confusión entre los contenidos de producto puro o de producto comercial, es recomendable expresar la dosis de coagulantes en Fe equivalente; es decir, 20,5% para la fórmula sólida y 14% aproximadamente para la solución acuosa comercial. En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso  $\text{FeCl}_2$ . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución. (CEPIS, 2004)

### 2.2.1.3 Sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ :

El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kgf/m<sup>3</sup>.

Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.

Si se usan sulfato ferroso y cloro para el tratamiento del agua, pueden dosificarse por separado o bien oxidarse previamente la solución de sulfato ferroso con cloro. Se obtiene entonces una mezcla de sulfato y cloruro férrico, a la que se conoce comercialmente con el nombre de *cloro-sulfato férrico* (CEPIS, 2004).

## 2.3.- Floculación.

El transporte de las partículas, ya desestabilizadas, dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos, se llama *floculación*.

La floculación puede ser *ortocinética*, y *pericinética*. La primera es introducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias, por ejemplo). La segunda es la promovida, internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro aquél (movimiento browniano, sedimentación), y se realiza en un tiempo muy corto después de la desestabilización de las partículas hasta que estas tienen un tamaño determinado por la micro escala de Kolmogoroff  $\eta$  (Arboleda, 1992).

## **2.4.-Características físico-químicas de los lodos procedentes de una Planta de Tratamiento de Potabilización de Agua.**

Las características de los lodos de alúmina varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año, sin embargo, poseen características básicas similares.

El lodo de alúmina es un fluido no Newtoniano (Cuya viscosidad varía con la tensión cortante que se le aplica), voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton, y otra materia orgánica e inorgánica removida del agua. El conocimiento de estas características son esenciales para determinar su tratamiento y su disposición final. (Sandoval, 2001)

Los sólidos residuales de las plantas de tratamiento de agua están constituidos por sólidos suspendidos provenientes de los desechos de los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y del retro lavado de los filtros. Generalmente tendrá un contenido bajo de sólidos, en el rango de 3,000 a 15,000 mg/l. Los sólidos suspendidos son del 75 al 90% de los sólidos totales (ST), con una cantidad de sólidos volátiles del 20 al 35% de los ST. La demanda bioquímica de oxígeno generalmente es de 30 a 100 mg/l. El pH del lodo está en un rango de 5 a 7. (Sandoval, 2001)

Todas éstas características provocan que el lodo sea: insoluble a pH natural, fácilmente sedimentable, pero a una concentración que es inadecuada para su manejo conveniente y por consiguiente para relleno de tierra, muy compresible, sin embargo, resiste el paso del agua y que tenga una composición que cuando se dispone en el suelo lo azolva (Sandoval, 2001)

**2.4.1-Grado de humedad del lodo:** La concentración en materia seca de un lodo, que llamamos deshidratado, suele estar en el entorno del 20 % (algo mayor si se emplean filtros prensa en la fase final del proceso), es decir que el mayor constituyente de este lodo es el agua. (Sandoval, 2001).

## **2.5.-Mortero de Cemento.**

Se define como una mezcla homogénea de agregados finos, cemento y agua, en proporciones convenientes para asegurar una resistencia adecuada, creando así una mezcla uniforme, manejable y plástica capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua.

## **2.6.-Cemento Portland.**

Es el producto obtenido de la pulverización Clinker Portland el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico con la adición de agua y sulfato de calcio. (COVENIN 28-2003).

Según Martínez (2004) Señala: es un polvo químico finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menor proporción de aluminatos de calcio, que mezclados con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto en el aire como en agua.

### **2.6.1.- Composición química del Cemento Portland.**

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto admitido, puede decirse que la composición química de un Cemento Portland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento Portland:

Compuesto Fórmula del óxido Notación abreviada

<i>Silicato tricálcico</i>	$Ca_3OSiO_2$	$C_3S$
<i>Silicato dicálcico</i>	$Ca_2OSiO_2$	$C_2S$
<i>Aluminato de Tricálcico</i>	$Ca_3OAl_2O_3$	$C_3A$
<i>Ferro Aluminato</i>	$Ca_4OAl_2O_3Fe_2O_3$	$C_4AF$

### **2.6.2.-Clasificación del cemento, según su uso.**

Como se mencionó anteriormente, el Cemento Portland, de acuerdo a las proporciones de cada uno de los componentes constituyentes, se clasifican en 5 tipos los cuales son:

2.6.2.1.- I Normal. *Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.*

2.6.2.2.- II Moderado. *Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.*

2.6.2.3.- III Altas resistencias. *Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.*

2.6.2.4.- IV Bajo calor de hidratación. *Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.*

2.6.2.5.- V Resistente a la acción de los sulfatos. *Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.*

Es necesario acotar que los distintos tipos de Cementos Portland existentes, deben cumplir con las siguientes normas de calidad:

a.- Norma Venezolana 28. Cemento Portland. Requisitos.

b.- Norma Venezolana 935. Cemento Portland- Escoria. Requisitos.

De acuerdo a la Norma Venezolana 1753-2006 “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”, en su capítulo 2 de definiciones, presenta sobre el cemento para mampostería, definiéndolo como un Cemento hidráulico que contiene uno o más de los siguientes materiales: Cemento Portland, cemento de escoria de alto horno, puzolanas, cemento natural, cemento de escoria o cal hidráulica, además usualmente mezclado con uno o más de los siguientes materiales finamente molidos, cal deshidratada, tiza, talco arcillas u otro.

### **2.7.-Concreto.**

La Norma Venezolana COVENIN 1753 (2003), define al concreto como: “mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que cumpla con requisitos de los capítulos 4 y 5”.

Según (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008) “El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar con ello a su endurecimiento”.

### **2.8.-Diseño de mezclas.**

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el mortero, con el fin de obtener los mejores resultados.

Hay dos alternativas para preparar el mortero: a) mortero de cemento, con una parte de cemento y cinco partes de arena; b) mortero de cal y cemento, con una parte de cal, una de cemento y nueve de arena. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008).

## **2.9.-Características del concreto fresco.**

Se denomina concreto fresco a la mezcla de cemento hidráulico, agregado grueso fino, agregado grueso en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (periodo plástico). En ese lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente o por vibración.

Ese estado de plasticidad tiene una duración diferente dependiendo de la localidad, también entre una y otra época del año, ya que las condiciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y frescos el estado plástico dura menos tiempo que en localidades húmedas y frías.

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas, no sólo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino por que pueden servir como señal anticipada de las propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico del concreto en este estado inicial avisa, en muchos casos, que en estado endurecido también puede ser impropia su calidad. En ese momento temprano y antes del completarse los vaciados del material, es cuando se deben ejecutar las correcciones. El comportamiento del concreto fresco depende de sus componentes, de las características del mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y de las condiciones del trabajo. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008)

## **2.10.-Reología.**

Bajo el término “Reología del concreto” se agrupa el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo.

En la práctica se define la reología del concreto con base en tres características: fluidez, compactabilidad y estabilidad a la segregación. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008).

### ***2.10.1.-Fluidez.***

La describe la calidad del fluido o la viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general, la palabra “trabajabilidad” también se emplea con el significado de fluidez. Consistencia es la condición de “tieso” y se puede considerar el antónimo de fluidez. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008).

### ***2.10.2.- Compactabilidad***

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía: atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento; y es la característica que permite la capacitación de la mezcla y su adaptación al molde. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008).

### ***2.10.3.- Estabilidad a la segregación***

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedras y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia a separarse unos de otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como “exudación” o “sangrado” y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse los granos gruesos del mortero, lo que se conoce como segregación, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. En algunos constructores existe la indebida tendencia a trabajar con concreto de alta fluidez, que son fáciles de colocar y de alisar; lo indebido es que, para obtenerlos, no diseñan mezclas especiales o solicitan concretos premezclados con aditivos sino que, simplemente,

añaden agua a las mezclas, indiscriminadamente. Eso produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece la aparición de grietas por retracción y le quita defensa al concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008).

#### **2.10.4.- Trabajabilidad.**

En la tecnología del concreto la palabra “trabajabilidad” se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del cono de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo es solo parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas.

Desde hace algún tiempo, estudiosos de la materia señalan la conveniencia de diferenciar con mayor claridad los conceptos relativos a: I) la plasticidad en sí de la mezcla (docilidad, consistencia) y II) la facilidad de usarla (trabajabilidad, colocabilidad). Se requieren métodos de ensayos que permiten medir, respectivamente, dichas características pero, hasta el momento no se han logrado con suficiente éxito. Tales son, por ejemplo, entre otros, el plasticímetro LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), y el medidor CES (Centre d'Essais des Structures). Ante estas opciones el método del cono de Abrams sigue teniendo basta aplicación pues, aun cuando no revela específicamente ciertas propiedades reológicas de la mezcla, el uso de la información que ofrece ha permitido la toma de decisiones acertadas. (Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G., 2008)

#### **2.11.- Cono de Abrams**

Construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1,5mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de

(200±3) mm de diámetro de base mayor, (100±3) mm de diámetro de base menor y de (300±3) mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre si y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches. (COVENIN 339-2003)

### **2.12.- Barra compactadora**

Esta debe ser de acero, recta, cilíndrica y lisa, de 16mm de diámetro, 600mm de longitud aproximada, con el extremo semiesférico con 8mm de diámetro. (COVENIN 339-2003)

### **2.13.- Medición de asentamiento con el cono de Abrams**

La norma Covenin 339-2003 CONCRETO. MÉTODO PARA LA MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO CON EL CONO DE ABRAMS. Esta Norma Venezolana contempla el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco (en las obras y en el laboratorio), mediante el uso del Cono de Abrams. El rango de asentamiento adecuado para aplicar el método va desde ½ ” (15 mm) a 8” (203 mm) No es aplicable para mezclas donde existan cantidades considerables de agregados mayores de 1 ½ ” (3.75 cm.) (COVENIN 339-2003)

## CAPITULO III

### 3.-METODO

Para evaluar el posible uso de los lodos producto del proceso de potabilización que se desarrolla en la Planta La Mariposa como agregado fino para concreto estructural y siguiendo la línea de los objetivos específicos planteados en este trabajo especial de grado, se conforma el método de trabajo desarrollado en múltiples etapas las cuales se explican a continuación de acuerdo a la forma en que se ejecutaron.

#### 3.1.-Recolección de la muestra de lodo.

En esta fase de la investigación, se procedió a extraer una cantidad de lodo, producto del proceso de potabilización de las aguas crudas procedente del embalse de La Mariposa. Para ello se hizo necesario, el uso de un vehículo 350, 6 envases plásticos cilíndricos de 200 litros cada uno, 2 palas, 4 envases plásticos de 30 litros cada uno, 15 metros de cuerda de  $\frac{1}{2}$ " , un gancho metálico hecho con cabilla de 1" , con el cual se procedió a, extraer el lodo y una vez almacenado en los envases de 200 litros, se traslado hasta un terreno ubicado en Cantarrana, Conjunto Residencial Villa Santa Matilde, Cumaná- Edo Sucre.

A continuación en las figuras 3.1 y 3.2 se presentan el almacenado y traslado del lodo.



Fig. 3. 1. Envases con lodo  
Cumana Edo. Sucre



Fig. 3. 2. Descarga de los envases  
Cumana Edo. Sucre

### 3.2.-Secado de la muestra de lodo

En esta etapa se procedió inicialmente a extender el lodo en una lona plástica de 12 m<sup>2</sup>. Dicha muestra se deshidrato por medio de rayos del sol. En este proceso la muestra se mantuvo en movimiento diariamente utilizando rastrillos y palas para intentar obtener una deshidratación uniforme.

Esta etapa tuvo un tiempo de duración de 27 días. La muestra colocada a la intemperie, era tapada al ocultarse el sol y descubierta todas las mañanas para continuar con su proceso de deshidratación. Así mismo, era cubierta en caso de amenaza de lluvia.

En las figuras 3.3 y 3.4 se muestra el proceso de secado del lodo.



Fig. 3. 3. Extendido del lodo  
Cumana Edo. Sucre



Fig. 3. 4. Extendido del lodo  
Cumana Edo. Sucre

Posterior a someter la muestra al proceso de secado, se procedió a la recolección del lodo y una vez almacenado en los envases de 200 litros, se traslado, hasta el IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) de la Universidad Central de Venezuela, ubicada en la los Chaguaramos, Caracas Distrito Capital.



Fig. 3. 5. Almacenaje de lodo  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 6. Termómetro y Horno de secado  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

Una vez trasladada las muestras de lodo al IMME, fueron colocadas en bandejas de dimensiones 50X25X10 cm. Posteriormente estas muestras fueron sometidas a un proceso de secado acelerado, en un horno a 300 °C por 24 horas, con el fin de disminuir el contenido de humedad.

En las figuras 3.7, 3.8 se muestra el proceso de secado.



Fig. 3. 7. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de secado IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 8. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de secado IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

### 3.3.- Eliminación de materia orgánica del lodo.

3.3.1.- Mediante el uso de una bandeja de acero inoxidable de dimensiones 10x25x5 cm, se expuso la muestra de lodo seco a una mufla precalentada a 650°C, por períodos 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos, tal como se muestra en las figuras 3.9 y 3.10



Fig. 3. 9. Bandeja con lodo, previo a colocación en horno de incineración IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 10. Bandeja con lodo, colocada en horno de incineración IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.3.2- Se identificaron adecuadamente dichas muestras, según el periodo de exposición, y se procedió a estimar cualitativamente la materia orgánica contenida en cada una de estas, de acuerdo al procedimiento estipulado en la Norma **COVENIN 256-77. "Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto"** (Ensayo Colorimétrico).

Para ello, se utilizaron los siguientes instrumentos, reactivos y equipos, a demás de seguir el procedimiento descrito a continuación:

#### Materiales, equipos y reactivos.

- 1.-Balanza con apreciación de 0,5 g.
- 2.-Cuarteador de agregado fino.
- 3.-2 Frascos de vidrio ovalados, graduados, con tapones de goma y de aproximadamente 350 cm<sup>3</sup>.
- 4.-Escala de Gardner.
- 5.-Solución de hidróxido de sodio en agua al 3%

#### Procedimiento.

Estos pasos se realizaron con cada una de las muestras identificadas previamente:

- 1.-Se pesó y seleccionó una muestra representativa.
- 2.-Se llenó el frasco hasta 1/3 de su altura con la muestra de lodo.
- 3.-Se añadió la solución de hidróxido de sodio en agua al 3% hasta llegar a 2/3 de la altura del frasco.
- 4.-Se agitó el frasco y luego se dejó reposando por 24 horas.

5.-Posteriormente, se procedió a comparar las muestras con la escala colorimétrica de Gardner, clasificándosele a cada una en un nivel.

De este modo se determinó el tiempo de exposición del lodo a 650°C, en el cual el nivel cualitativo de materia orgánica estuviese por debajo del patrón colorimétrico número 3, cumpliendo con lo estipulado en la norma **COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregado. Requisitos”**

### **3.4.-Discretización de los terrones de lodo.**

En el proceso de deshidratación del lodo se formaron terrones de tamaños mayores al de una partícula característica del agregado fino, por lo que se procedió mediante el uso de los siguientes materiales y equipos a su trituración:

- 1.- Trituradora de piedra, perteneciente al laboratorio de concreto del IMME.
- 2.- Cuchara.
- 3.- Envase rectangular de dimensiones 15X20X30 cm.
- 4.- 4 envases de cilíndricos de 200 litros de capacidad.
- 5.- Tapa boca
- 6.- Lentes de seguridad.

Se procedió a triturar todos los terrones de lodo deshidratado en partículas muchos más pequeñas, similares a simple vista a las de arena.

### **3.5.-Disminución de la materia orgánica del lodo.**

En esta etapa se disminuyó el contenido de la materia orgánica del lodo extraído de la Planta de Potabilización de Agua La Mariposa, previamente deshidratado, mediante el uso de una mufla, ubicada en el IMME - UCV.

Se introdujo en la mufla, a una temperatura de 650°C, una muestra del lodo, en una bandeja de de acero inoxidable de dimensiones 10x25x5 cm, por el

tiempo determinado en la etapa 3.3., ( 20 minutos) Este procedimiento se repitió hasta completar la totalidad del material requerido para la elaboración de las probetas en las figuras 3.11 y 3.12



Fig. 3. 11. Horno de incineración a 650°C  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 12. Colocación de la muestra en  
Horno de incineración a 650°C  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

### **3.6.- Determinación del porcentaje de absorción del lodo, previamente acondicionado, por tratamiento térmico.**

En esta fase, de la investigación se realizó un ensayo empírico en el laboratorio de Mecánica de Suelos del IMME, el cual permitió conocer de forma aproximada el porcentaje de absorción del lodo previamente acondicionado por tratamiento térmico (deshidratado y sin materia orgánica), y una clasificación del material.

#### **Materiales y equipos:**

- 1.-Balanza con apreciación de 0,5 g.
- 2.-Cuarteador de agregado fino.
- 3.-Hidrometro.
- 4.- Mufla.
- 5.- Trituradora manual.
- 6.- Tres moldes de acero inoxidable.
- 7.- Vaselina.
- 8.- Vernier.

## Procedimiento

3.6.1.- Se tomó una muestra del lodo (deshidratado y sin materia orgánica).



Fig. 3. 13. Pesaje de la muestra de lodo  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.2.- Mediante el uso de una tara, una cuchara y agua se procedió a humedecer la muestra, dejándose por 24 horas, garantizando que esta estuviese realmente saturada, tal como se presenta en las figuras 3.14 y 3.15



Fig. 3. 14. Preparación de la muestra  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 15. Muestra saturada  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.3.- Con el uso del vernier se determinaron las medidas interiores de los 3 moldes de acero inoxidable, tal como se presenta en la Figura. 3.16



Fig. 3. 16. Medición de moldes de Acero Inoxidable  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.4.- Utilizando la balanza electrónica, se pesaron los moldes de acero inoxidable, previamente engrasados interiormente con una capa muy delgada de vaselina, tal como se presenta en las figuras 3.17 y 3.18



Fig. 3. 17. Preparación del molde de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 18. Pesaje del molde de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.5.- Con la espátula plana, fueron llenados los moldes de acero inoxidable al ras con la muestra de lodo, previamente saturada, tal como se presenta en las figuras 3.19 y 3.20



Fig. 3. 19. Preparación de la muestra en moldes de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas. Distrito Capital



Fig. 3. 20. Preparación de la muestra en moldes de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas. Distrito Capital

3.6.6.- Se procedió a extraer el aire atrapado en la muestra, dándole suaves golpes a los moldes con el mesón hasta apreciar que no siguieran apareciendo burbujas de aire en la superficie de la muestra, tal como se presenta en la figura 3.21



Fig. 3. 21. Extracción de los vacíos de las muestras contenidas en los moldes de acero inoxidable IMME UCV. Caracas, distrito capital

3.6.7.- Utilizando nuevamente la balanza electrónica, se determinó el peso total de cada muestra contenida en los moldes, posteriormente se obtuvo la diferencia, tal como se presenta en la figura 3.22



Fig. 3. 22. Pesaje moldes de acero inoxidable con las muestras IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.8.- Posterior a conocer el peso de muestra contenida en cada uno de los moldes de acero inoxidable, fueron colocados en la mufla, previamente calentada a una temperatura de 110°C, por 24 horas, tal como se presenta en las figuras 3.23 y 3.24



Fig. 3. 23. Colocación de los moldes de acero inoxidable en la Mufla de Secado a 110°C IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 24. Colocación de los moldes de acero inoxidable en la Mufla de Secado a 110°C IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.6.9.- Se extrajeron los moldes de la mufla y fueron pesados balanza electrónica (fig. 3.25 y 3.26).

Con la diferencia de pesos se estableció el peso de agua que contenía la muestra, para de esa manera determinar posteriormente el porcentaje de absorción de la misma.



Fig. 3. 25. Muestras secas en moldes de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

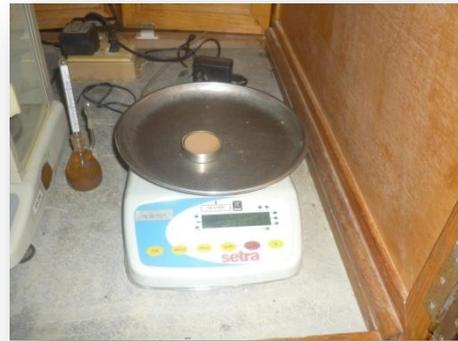


Fig. 3. 26. Pesaje de muestras secas en moldes de acero inoxidable  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

### 3.7.-Cálculo del contenido de humedad de los agregados

Materiales:

1. Horno para secar
2. Balanza con precisión no menor a 1/1000
3. Recipientes
4. Pinzas para manipular

Procedimiento

1. Se pesó el recipiente limpio y seco ( $t$ ).
2. Se pesó cada recipiente con la muestra de cada uno de los materiales.  
( $t+W_h$ )
3. Se introdujeron en el horno, a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

4. Se retiraron las muestras del horno, dejándose enfriar.
5. Se pesaron cada muestra, una vez alcanzada la temperatura ambiente.  
( $W_s + t$ )
6. Luego con el uso de las siguientes fórmulas, se procedió a calcular el contenido de humedad.

$$W_w = (W_h + t) - (W_s + t) = W_h - W_s$$

$$y: W_s = (W_s + t) - t$$

$$\text{Luego: } \omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

### **3.8.- Diseño de mezcla.**

Esta etapa de la investigación fue fundamental, ya que permitió obtener una dosificación específica de cada uno de los componentes de la mezcla. Para el desarrollo de este diseño se siguieron los pasos descritos por Porrero (2004).

#### **3.8.1.-Tipos de agregado finos y gruesos.**

El agregado fino empleado fue arena natural extraída del saque La Milagrosa. Como agregado grueso se empleo grava de 1” extraído de la cantera Las Marías; ambos agregados donados por la FABRICA NACIONAL DE CEMENTO (FNC). Además de un control visual de los agregados, solo se realizó el ensayo de cálculo de humedad descrito previamente, ya que la FNC suministro tablas con la gran mayoría de los datos de ambos agregado. (Anexos)

#### **3.8.2.- Resistencia de diseño.**

Como se menciona en los objetivos específicos de la investigación, la resistencia deseada es de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ ; y tomando en cuenta que el control de calidad que desde el principio se aplico era excelente se trabajo con los siguiente valores.

$$F'c=250 \text{ kgf/cm}^2$$

$$a) F_{cr} = F'c + Z\sigma$$

Donde se estipula que para un control de calidad excelente, la desviación estándar toma el valor de:

$$\sigma = 60$$

Por tanto:

$$b) F_{cr} = F'c + 60$$

$$F_{cr} = 310 \text{ kgf/cm}^2$$

### 3.8.3.- Relación agua- cemento.

Con el uso del valor anterior se calculó el valor de  $\alpha$ , utilizando la fórmula:

$$c) \alpha = 3,147 - 1,065 * \log F_{cr}$$

$$\alpha = 0,49$$

### 3.8.4.- Corrección a la relación agua cemento.

Tomando en cuenta el tipo de agregado y sus tamaños, se obtiene de las tablas VI.7, VI.8., los valores  $K_r$  (factor para corregir  $\alpha$  por tamaño máximo) y  $K_a$  (Factor para corregir  $\alpha$  por tipo de agregado), respectivamente; donde se obtuvo como resultado:

$$K_r=1$$

$$K_a=0,91$$

Aplicando la fórmula:

$$d) \alpha_c = \alpha * K_r * K_a$$

$$\alpha_c = 0,449$$

Tomando en cuenta la tabla VI.9, donde acotan que el valor mínimo de  $\alpha$ , que se debe utilizar es 0,455, se decide trabajar con este valor.

$$\alpha_c = 0,455$$

### 3.8.5.-Dosis de Cemento.

Para el cálculo de la dosis de cemento se utilizó la fórmula:

$$e) C = 117,2 * \frac{T^{0.16}}{\alpha^{1.3}}$$

Donde, según la tabla VI.10, se recomienda un asentamiento (T) para vaciar losas, vigas y columnas que se encuentre en el orden de los 6 a 11 cm; por lo que el valor utilizado fue:

$$T = 8 \text{ cm}$$

Luego aplicando la fórmula el valor de la dosis de cemento que se obtuvo fue:

$$C = 455 \text{ kg/m}^3$$

### 3.8.6.- Corrección de la dosis de cemento.

Para realizar la corrección en la dosis de cemento se hizo uso de las tablas VI.11 y VI.12, para determinar los valores de las constantes C1 y C2 respectivamente, teniendo como resultado:

$$C1 = 1$$

$$C2=0,90$$

Mediante el uso de la fórmula (d) se calculo el valor de la dosis de cemento corregida

$$d) Cc= C*C1*C2$$

$$Cc= 409 \text{ kgf/m}^3$$

### 3.8.7.-Cantidad de agua de la mezcla.

Para el cálculo de la cantidad de agua de la mezcla se utilizo la formula siguiente:

$$e) a=Cc*\alpha c$$

$$a= 186 \text{ kgf/m}^3$$

$$a= 186 \text{ l/m}^3$$

### 3.8.8.- Volumen de aire atrapado.

Este fue estimado mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$f) V = \frac{Cc}{TM}$$

$$V= 16.1$$

### 3.8.9.- Cálculo de los volúmenes de piedra y arena.

$$g) A+G= \gamma_{(a+b)}*1000-0,3*Cc-a-Vw$$

$$V_{total} = \text{Vol agua} + \text{Vol fino} + \text{Vol grueso} + \text{Vol aire} + \text{Vol cemento}$$

$$1000 = 186 + 0,321 + 0,375 + 16,1 + 122,8$$

Tomando en cuenta los siguientes valores, obtenidos del material suministrado por la empresa FNC, se procedió a calcular los valores del volumen de piedra y arena para 1 m<sup>3</sup> de mezcla.

<b>f/D:</b>	0,3
<b>β:</b>	0,5
<b>TM:</b>	1 “
<b>Cc:</b>	409 kgf/m <sup>3</sup>
<b>PU-grueso:</b>	2,67 kgf/cm <sup>3</sup>
<b>PU-fino:</b>	2,60 kgf/cm <sup>3</sup>
<b>Volumen de Agua:</b>	1000 cm <sup>3</sup>
<b>Volumen de Fino:</b>	Pf / 2.60
<b>Volumen de Grueso:</b>	Pg / 2.67
<b>Volumen de Aire:</b>	Cc / TM
<b>Volumen de Cemento:</b>	Cc.f/D

Obteniendo así los siguientes pesos, para 1 m<sup>3</sup>:

<b>Peso GSSS =</b>	<b>621</b>	kgf
<b>Peso FSSS =</b>	<b>517</b>	kgf
<b>Peso Cemento=</b>	<b>409</b>	kgf
<b>Peso Agua=</b>	<b>186</b>	kgf

Con estos valores, y utilizando los resultados obtenidos en la sección 3.7, se procedió a realizar el cálculo definitivo de cada uno de los componentes, posterior a realizar el ajuste por contenido de humedad de cada uno de los agregados.

$$h) G_{SS} = \frac{G_w \cdot (100 + Ab)}{(100 + w)}$$

$$i) G_w = \frac{G_{SS} \cdot (100 + w)}{(100 + Ab)}$$

<b>Grava</b>	<b>Arena</b>
<b>G<sub>sss</sub></b> = Peso del agregado saturado con superficie seca.	<b>G<sub>w</sub></b> = Peso del agregado saturado con superficie seca.
<b>G<sub>w</sub></b> = Peso del material húmedo.	<b>F<sub>w</sub></b> = Peso del material húmedo.
<b>W</b> = Humedad del agregado.	<b>W</b> = Humedad del agregado.
<b>Ab</b> = Absorción del agregado.	<b>Ab</b> = Absorción del agregado.
<b>Ad</b> = Agua de diseño.	<b>Ad</b> = Agua de diseño.

Por tanto:

<b>Grava</b>	<b>Arena</b>
<b>G<sub>sss</sub></b> = 621 kg	<b>G<sub>w</sub></b> = 517 kg
<b>G<sub>w</sub></b> = 614	<b>F<sub>w</sub></b> = 518
<b>W</b> = 0,2	<b>W</b> = 3,09
<b>Ab</b> = 1,3 %	<b>Ab</b> = 3,52 %
<b>Ad</b> = 186 l	<b>Ad</b> = 186 l

Luego aplicando la fórmula:

$$j) A_m = A_d + F_{sss} - F_w + G_{sss} - G_w$$

$$A_m = 195 \text{ l}$$

Obteniendo en definitiva los siguientes valores para  $1 \text{ m}^3$  de mezcla:

TABLA 8.2 cantidades de agregados para  $1 \text{ m}^3$  de mezcla

	<b>SIN CORREGUIR</b>	<b>CORREGUIDA</b>
	<b>SSS</b> <b>( W = Ab)</b>	<b>Agua añadida</b> <b>( W ≠ Ab)</b>
CEMENTO	409	409
AGUA	186	195
ARENA	517	515
GRUESO	621	614
<b>TOTAL</b>	<b>1734</b>	<b>1734</b>

### 3.9.-Verificación del diseño de mezcla.

Una vez calculadas las distintas proporciones en las cuales se encuentran cada uno de los componentes que intervienen en la mezcla, se procedió a elaborar una mezcla patrón, pesando las cantidades de materiales establecidas y posteriormente colocados cuidadosamente, uno por uno, manteniendo la mezcladora encendida; primero el agregado grueso, seguido por la arena, el lodo, una dosis de agua, el cemento y finalmente el agua restante.

#### 3.9.1.- Medición del asentamiento de la mezcla (Ensayo del Cono de Abrams).

Posterior a la elaboración de cada una de las mezclas, con el uso de los siguientes materiales:

- 1.- Cono de Abrams.
- 2.- Barra compactadora.
- 3.- Cuchara.
- 4.- Cinta métrica.

Se determinó el asentamiento que presentó cada una de las mismas, siguiendo el procedimiento contenido en la Norma **COVENIN 339 “concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”**:

Procedimiento:

1.- Se humedeció el interior del molde y se colocó sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente (utilizando una lámina metálica que garantiza las condiciones anteriores). El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde. Estos volúmenes correspondieron respectivamente a las alturas de 6,5 cm y 15 cm aproximadamente, a partir de la base.

2.- Cada capa se compactó con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa inferior se hizo necesario inclinar ligeramente la barra y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. Esta capa se compactó en todo su espesor y las capas siguientes se compactaron, en su espesor respectivo de modo que la barra penetró ligeramente en la capa inmediata inferior.

3.- El molde se llenó por exceso antes de compactar la última capa. Luego se enrasó mediante el uso de la barra compactadora. Inmediatamente se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. Evitando los movimientos laterales o de torsión. Esta operación debe realizarse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos.

4.- Cabe acotar que la operación completa se realizó, en todos los casos, sin interrupción y en un tiempo máximo de 1 min 30 s.

5.- El asentamiento se midió inmediatamente después de alzar el molde y se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado.

Una vez medido el asentamiento, para la realización de las probetas cilíndricas de concreto se desarrolló el procedimiento descrito en la norma **COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto.”** En la misma, se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos:

- 1.- Mezcladora de eje vertical, con una capacidad de  $6m^3$ .
- 2.- Cuchara.
- 3.- Pala.
- 4.- Moldes para probetas cilíndricas de 30x15 cm.
- 5.-Balanza.
- 6.- Barra compactadora.

#### Procedimientos.

##### 1.-Preparación del molde

1.1.-El molde se limpió, tanto en su superficie interior como en su base y luego fue aceitado, tal como se observa en las figuras 3.27 y 3.28



Fig. 3. 27. Molde engrasado  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 28. Molde engrasado  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

##### 2.-Preparación del cilindro

2.1.- Sitio del moldeo: Las probetas se moldearon en el lugar donde se almacenaron durante las primeras 24 horas.

2.2.- Vaciado: El concreto se vació en los moldes, en tres capas, y fue compactado mediante el método de la barra, asegurándose al mínimo la segregación del material dentro del molde, utilizando la barra para tal fin.

2.3.-Compactación con barra: El concreto se colocó en el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa se compactó con un número de 30 golpes, para lo cual se utilizó la barra compactadora.

Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo se compactó en toda su profundidad.

Cuando se compactó la capa inmediata superior, la barra penetró aproximadamente de 20 a 30 mm en la capa inmediatamente inferior. Y en los casos donde al retirar la barra quedaron huecos en el cilindro, éstos se cerraron golpeando suavemente las paredes del molde.

2.3.1.-Después de compactar el concreto, por el método de la barra, se enrasó la probeta con la barra y luego con la cuchara de albañilería, de manera que la superficie quedó perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.



Fig. 3. 29. Elaboración de los cilindros IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 30. Compactación de los cilindros IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

2.4.- Curado de los cilindros: Una vez elaboradas las probetas se protegieron de la pérdida de agua por evaporación almacenándolas en un lugar con sombra a temperatura ambiente.

Las probetas fueron retiradas de los moldes, en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas, después de su elaboración y se almacenaron hasta el momento del ensayo, en unas bañeras con aguas identificadas cada una con la fecha de la inmersión.



Fig. 3. 31. Desencofrado de los cilindros  
IMME UCV, Caracas, Distrito Capital  
3.- Ensayo de los elementos elaborados.



Fig. 3. 32. Desencofrado de los cilindros  
IMME UCV, Caracas, Distrito Capital

### 3.1.- Preparación de la muestra

3.1.1.- Las caras de compresión se remataron de tal forma que se logró el paralelismo entre las caras del cilindro. De igual forma se garantizó que las superficies de compresión estuviesen visiblemente planas, sin grumos, ralladuras o defectos.

3.1.2.- La sección del cilindro se determinó en su zona central y el diámetro de cálculo fue el promedio de los diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más próximo.

3.1.3.- La altura del cilindro se determinó después de ser rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro más cercano.

3.1.4.- Los cilindros se ensayaron a la edad prevista (3 días).



Fig. 3. 33. Preparación de los cilindros para ser ensayados  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 34. Preparación de los cilindros para ser ensayados  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

### 3.2.- Procedimiento:

3.2.1.- Los cilindros se colocaron en la máquina de ensayo, se centraron cuidadosamente y se comprimieron. Se garantizó que tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina estuviesen exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

3.2.2.- Se utilizó, una maquina operada hidráulicamente con la cual se aplicó una presión a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>/seg a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>/seg, en todos los casos.



Fig. 3. 35. Cilindro ensayado  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 36. Cilindro ensayado  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

### 3.3.- Expresión de los resultados

3.3.1.-La resistencia a compresión de cada cilindro se calculó por la siguiente fórmula:

$$R_c = P/A$$

Donde:

$R_c$  = Resistencia a compresión  $\text{kgf/cm}^2$

$P$  = Carga máxima aplicada,  $\text{kgf}$

$A$  = Área de la sección transversal del cilindro,  $\text{cm}^2$

La resistencia a compresión de cada cilindro fue el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro. El resultado del ensayo fue el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo.

Es necesario acotar que debido a que la maquina hacia los cálculos para un cilindro estándar de 15X30 cm, se compararon los resultados reportados por esta, con los resultados calculados con las verdaderas dimensiones de los cilindros para garantizar la veracidad de los mismos.

### **3.10.-Preparación de las probetas cilíndricas definitivas.**

Luego de ser calcularse las distintas proporciones en las cuales se encuentran cada unos de los componentes que intervienen en la mezcla y verificarse el diseño de esta, se procedió a elaborar las distintas mezclas, las cuales contenían diferentes proporciones del lodo (10%, 20% 30% y 50%) en sustitución del agregado fino de cada mezcla, posterior a ser sometido a una temperatura controlada.

Una vez pesadas las cantidades de materiales establecidas en el diseño de la mezcla, los materiales fueron colocados cuidadosamente, uno por uno, manteniendo la mezcladora encendida. Primero se colocó el agregado grueso, seguido por la arena, el lodo, una dosis de agua, el cemento y finalmente el agua restante.

### 3.10.1.- Medición del asentamiento de la mezcla (Ensayo del Cono de Abrams).

Posterior a la elaboración de cada una de las mezclas, con el uso de los siguientes materiales:

- 1.- Cono de Abrams.
- 2.- Barra compactadora.
- 3.- Cuchara.
- 4.- Cinta métrica.

Se determinó el asentamiento que presentó cada una de las mismas, siguiendo el procedimiento contenido en la Norma **COVENIN 339 “concreto.**

#### **Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”:**

Procedimiento:

1.- Se humedeció el interior del molde y se colocó sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente (utilizando una lámina metálica que garantiza las condiciones anteriores). El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde. Estos volúmenes correspondieron respectivamente a las alturas de 6.5 cm y 15 cm aproximadamente, a partir de la base.

2.- Cada capa se compactó con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa inferior se hizo necesario inclinar ligeramente la barra y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. Esta capa se compactó en todo su espesor y las capas siguientes se compactaron, en su espesor respectivo de modo que la barra penetró ligeramente en la capa inmediata inferior.



Fig. 3. 37. Preparación del cono de Abrams  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital



Fig. 3. 38. Compactación de la muestra del cono  
de Abrams  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.- El molde se llenó por exceso antes de compactar la última capa. Luego se enrasó mediante el uso de la barra compactadora. Inmediatamente se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. Evitando los movimientos laterales o de torsión. Esta operación debe realizarse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos.



Fig. 3. 39. Cono de Abrams  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

4.- Cabe acotar que la operación completa se realizó, en todos los casos, sin interrupción y en un tiempo máximo de 1 min 30 s.

5.- El asentamiento se midió inmediatamente después de alzar el molde y se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado.



Fig. 3. 40. Medición del asentamiento  
IMME UCV. Caracas, Distrito Capital

3.10.2.-Elaboración de los elementos a ser ensayados.

Para la realización de 6 probetas cilíndricas de concreto de dimensiones 30X15 cm, por cada mezcla, se desarrollo el procedimiento descrito en la norma **COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto.”** En la misma, se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos:

- 1.- Mezcladora de eje vertical, con una capacidad de 6m<sup>3</sup>.
- 2.- Cuchara.
- 3.- Pala.
- 4.- Moldes para probetas cilíndricas de 30x15 cm.
- 5.-Balanza.
- 6.- Barra compactadora.

#### Procedimientos.

- 1.-Preparación del molde

1.1.-El molde se limpió, su superficie interior así como su base y luego se aceitó.

## 2.-Preparación del cilindro

2.1.- Sitio del moldeo: Las probetas se moldearon en el lugar donde se almacenaron durante las primeras 24 horas.

2.2.- Vaciado: El concreto se vació en los moldes, en tres capas ya que fue compactado mediante el método de la barra, asegurándose al mínimo la segregación del material dentro del molde, utilizando la barra para tal fin.

2.3.-Compactación con barra: El concreto se colocó en el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa se compactó con un número de 30 golpes, para lo cual se utilizó la barra compactadora.

Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo se compactó en toda su profundidad.

Cuando se compactó la capa inmediata superior, la barra penetró aproximadamente de 20 a 30 mm en la capa inmediatamente inferior. Y en los casos donde al retirar la barra quedaron huecos en el cilindro, éstos se cerraron golpeando suavemente las paredes del molde.

2.3.1.-Enrase: Después de compactar el concreto, por el método de la barra, se enrasó la probeta con la barra y luego con la cuchara de albañilería, de manera que la superficie quedó perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.

2.4.- Curado de los cilindros: Una vez elaboradas las probetas se protegieron de la pérdida de agua por evaporación almacenándolas en un lugar con sombra a temperatura ambiente.

Las probetas fueron retiradas de los moldes, en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas, después de su elaboración, y se almacenaron hasta el momento del ensayo, en unas bañeras con aguas identificadas cada una con la fecha de la inmersión.

### **3.-Ensayos.**

En esta fase de la investigación, se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión según la norma **COVENIN 338-2002 “concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”**, a cilindros de 30x15cm, elaborados sustituyendo un porcentaje de la arena (10%,30% y 50%) por lodo de la planta de potabilización la Mariposa, previamente acondicionado térmicamente. Todos estos ensayos, se realizarán en el IMMEN, ubicado en la Universidad Central de Venezuela.

Para esta etapa de la investigación, utilizaremos los siguientes instrumentos y equipos:

- 1.- Moldes cilíndricos de 30x15 cm.
- 2.- Nave de ensayo a compresión, Prensa Universal.
- 3.-Carro de mano, con el cual posterior a los ensayos se trasladaran los elementos ensayados a el sitio de bote de escombros, del instituto de materiales.

1.-Ensayo de los elementos elaborados.

1.1.- Preparación de la muestra

1.1.1.- Las caras de compresión se remataron de tal forma que se logró el paralelismo entre las caras del cilindro. También se garantizó que las superficies de compresión estuviesen visiblemente planas, sin grumos, ralladuras o defectos visibles.

1.1.2.-La sección del cilindro se determinó en su zona central y el diámetro de cálculo fue el promedio de los diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más próximo.

1.1.3.- La altura del cilindro se determinó después de ser rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro más cercano.

1.1.4.-Los cilindros se ensayaron a la edad prevista.

## 2.- Procedimiento

2.1.-Los cilindros se colocaron en la máquina de ensayo, se centraron cuidadosamente y se comprimieron. Se garantizó que tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina estuviesen exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

2.2.- Se utilizó, una maquina operada hidráulicamente con la cual se aplicó una presión a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>/seg a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>/seg, en todos los casos.

## 3.- Expresión de los resultados

3.1.-La resistencia a compresión de cada cilindro se calculó por la siguiente fórmula:

$$R_c = P/A$$

Donde:

$$R_c = \text{Resistencia a compresión kgf/cm}^2$$

$$P = \text{Carga máxima aplicada, kgf}$$

$$A = \text{Área de la sección transversal del cilindro, cm}^2$$

La resistencia a compresión de cada cilindro fue el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro. El resultado del ensayo fue el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo.

Es necesario acotar que debido a que la maquina hacia los cálculos para un cilindro estándar de 15X30 cm, se compararon los resultados reportados por esta, con los resultados calculados con las verdaderas dimensiones de los cilindros para garantizar la veracidad de los mismos.

### **3.11.- Determinación de la granulometría del lodo, por lavado y tamizado**

En esta etapa de la investigación se determino por el método del lavado y tamizado la granulometría del lodo utilizado como agregado fino en las mezclas de concreto.

#### Materiales y equipos

1. Balanza eléctrica con sensibilidad de 0.1gr.
2. Juego de tamices del 10 al 200.
3. Horno de secado y embases apropiados.

Se utilizó 131,9gr de material seco y el procedimiento utilizado fue el siguiente:

#### Procedimiento

1. Se tomó 131,9 g en peso inicial de material seco pasante del tamiz N° 10.
2. Se colocó el material en un vaso de precipitado, se cubrió con agua y se dejó remojando hasta que todos los terrones se ablandaran.
3. Después de estar inmerso por 24 horas, se lavó todo el contenido del vaso de precipitado sobre el tamiz 200, hasta que se observó que el agua salía limpia.
4. El material retenido en el tamiz 200 después de el proceso de lavado se colocó en un embace y se introdujo en el horno a una temperatura  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
5. Transcurrida 24 horas, de haber colocado el material en el horno, se procedió a tamizarlo por tamices de malla inferior al N° 10.
6. Se procedió a pesar lo retenido en cada uno de los tamices.

## CAPITULO IV

### 4.-RESULTADOS Y ANALISIS.

#### 4.1.- Secado de la muestra.

Las distintas etapas utilizadas para realizar el proceso de deshidratación, se consideran muy efectivas, ya que se observó como la muestra de lodo fue perdiendo paulatinamente la cantidad de agua tan abundante que poseía desde el momento de su extracción, dando como resultado al final de estos procesos terrones secos, bastantes trabajables para el proceso de discretización de las partículas, facilitando así los procesos siguientes, como fueron la disminución de materia orgánica y elaboración de elementos de ensayo.

Es necesario acotar, que cobra mayor importancia este proceso de deshidratación de la muestra, debido a que la temperatura a la que se utilizó el horno para disminuir la materia orgánica presente en el lodo fue de 650 °C y como el punto de ebullición del agua es de 100°C, se podía ocasionar una explosión si el lodo antes de someterse a este proceso no se encontraba completamente deshidratado.

#### 4.2.- Materia orgánica.

**TABLA 4. 1**  
**Contenido de Materia Orgánica del lodo de P.T.**  
**La Mariposa**

<b>MUESTRA</b>	<b>TIEMPO DE EXPOSICION (min)</b>	<b>ENSAYO COLORIMETRICO</b>
NATURAL*	-	5
0**	-	5
M1	5	5
M2	10	4
M3	15	4
M4	20	2
M5	25	2
M6	30	1

\**Muestra natural sin secar.*

\*\* *Muestra seca.*

Como se observa en la **TABLA 4.1**, con el proceso de la determinación cualitativa de la materia orgánica, mediante el procedimiento estipulado en la Norma **COVENIN 256-77. "Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto"** (Ensayo **Colorimétrico**), la muestra extraída de la Planta de Potabilización La Mariposa, presentaba niveles de materia orgánica muy elevados, según la escala colorimétrica de Gardner igual a 5, el cual se esperaba, ya que desde el momento de la extracción de las muestras de lodos, se percibió el olor excesivamente fétido, que solo era comparable con el emitido por las aguas residuales con niveles elevados de materia orgánica.

Como se observa en la **TABLA 4. 1**, la determinación del tiempo de exposición del lodo a la temperatura de 650°C fue aproximada, debido a que se utilizaron tiempos previamente estipulados para facilitar de esa manera el ensayo.

Es necesario mencionar, que simplemente se tomó como tiempo aceptable, aquel tiempo en el cual la muestra de lodo presentara un valor colorimétrico según la escala de Gardner menor a 3, el cual es el valor máximo de materia orgánica aceptado por la norma **COVENIN 277-2000 "Concreto. Agregado. Requisitos"**, Este tiempo resultó ser 20 min, aun cuando se puede establecer que el tiempo real se encuentra entre 15min y 20min.

#### **4.3.- Cálculo del contenido de humedad de los agregados.**

**TABLA 4.2.1**

**Contenido de Humedad de la arena**

	<b>PESO (g)</b>
<b>PESO INICIAL</b>	500
<b>PESO FINAL</b>	485

Contenido de humedad de la arena: **W: 3,09%**

**TABLA 4. 2.2**

**Contenido de Humedad de la piedra**

	<i>PESO (g)</i>
<i>PESO INICIAL</i>	500
<i>PESO FINAL</i>	499

Contenido de humedad de la arena: **W: 0,2%**

Con los valores obtenidos en las tablas 4.2.1 y 4.2.2 junto con el valor de porcentaje absorción (% abs) suministrado por la empresa FNC se realizaron las correcciones, respectivas en el contenido de cada uno de los componentes en el diseño de mezcla, en la TABLA 8.2.

**4.4.- Cálculo del porcentaje de absorción del lodo.**

**TABLA 4. 3**

**Calculo de absorción del Lodo**

<i>Molde</i>	<i>Hi*</i>	<i>Diámetro Interno</i>	<i>P recipiente</i>	<i>Pi recipiente +muestra</i>	<i>Pf recipiente +muestra</i>
6	0,996	4,31	61,45	83,39	71,46
5	0,998	4,34	61,49	81,87	70,07
3	0,996	4,38	59,19	80,08	68,69
<b>PROMEDIO</b>				81,78	70,07

\*Hi: altura del molde.

**Porcentaje de absorción: 14,31%**

Como se observa en la **TABLA 4. 3**, el porcentaje de absorción del lodo es significativo, ya que este absorbe un 14,314% de su peso en agua, lo cual sino es tomado en cuenta alteraría significativamente el diseño de la mezcla ya que disminuiría la relación agua cemento, afectando la resistencia de los elementos elaborados, por lo cual se decidió agregar a cada mezcla una cantidad adicional de agua, igual al 14,314% del peso de lodo que contenía la mezcla para de esa manera intentar mantener la relación agua cemento calculada en el diseño de mezcla original.

Dando como resultado un contenido de agregados y materiales constitutivos de cada mezcla igual a los mostrados en la **TABLA 4. 4**.

**TABLA 4. 4**

*Cantidades de cada uno de los materiales de la mezcla de concreto.*

<i>MEZCLA</i>	<i>CEMENTO</i>	<i>PIEDRA</i>	<i>ARENA DEF.</i>	<i>LODO</i>	<i>AGUA DEF</i>
<i>MEZCLA PATRON</i>	14,98	22,46	18,84	0,00	7,14
<i>MEZCLA 10%</i>	14,98	22,46	16,96	1,88	7,41
<i>MEZCLA 20%</i>	14,98	22,46	15,08	3,77	7,68
<i>MEZCLA 30%</i>	14,98	22,46	13,19	5,65	7,95
<i>MEZCLA 50%</i>	14,98	22,46	9,42	9,42	8,49

Dado que la precisión de la balanza utilizada solo permitía manejar un solo decimal, se decidió aproximar el número para de esa forma trabajar con un solo decimal, obteniendo así la **TABLA 4. 5**.

**TABLA 4. 5**

*Cantidades definitivas de cada uno de los materiales de la mezcla de concreto.*

<b>MEZCLA</b>	<b>CEMENTO (kgf)</b>	<b>PIEDRA (kgf)</b>	<b>ARENA DEF. (kgf)</b>	<b>LODO (kgf)</b>	<b>AGUA DEF. (kgf)</b>
<b>MEZCLA PATRON</b>	15,00	22,50	18,80	0,00	7,10
<b>MEZCLA 10%</b>	15,00	22,50	17,00	1,90	7,40
<b>MEZCLA 20%</b>	15,00	22,50	15,10	3,80	7,70
<b>MEZCLA 30%</b>	15,00	22,50	13,20	5,70	8,00
<b>MEZCLA 50%</b>	15,00	22,50	9,40	9,40	8,50

Es necesario acotar que en vista del desperdicio que se genera para la elaboración de los 6 cilindros necesario para cada mezcla, se le aumentó un 15% al volumen total, el cual ya está considerado en las **TABLA 4. 4** y la **TABLA 4. 5**.

#### **4.5.- Trabajabilidad.**

Los valores de trabajabilidad se presentan en la **TABLA 4. 6**.

**TABLA 4. 6**

*Asentamiento de las mezclas*

<b>MEZCLA</b>	<b>ASENTAMIENTO (cm)</b>
<b>MEZCLA PATRON</b>	12,0
<b>MEZCLA 10%</b>	8,0
<b>MEZCLA 20%</b>	8,0
<b>MEZCLA 30%</b>	6,5
<b>MEZCLA 50%</b>	4,0

Es necesario acotar que aún y cuando el diseño de mezcla estuvo hecho para un asentamiento de 8 cm, para la mayoría de los casos se obtuvo asentamientos distintos al valor de diseño y solo para los casos en los que se

prepararon las mezclas en las cuales se sustituyó un 10% y un 20% del agregado fino por lodo, se obtuvo un asentamiento igual al de diseño.

También se observa en la **TABLA 4. 6** que a medida que se aumentaba el contenido de lodo en la mezcla, la trabajabilidad de la misma se reducía, llegando en el caso más crítico a ser de 4 cm, con la cual fue muy difícil realizar el trabajo de compactación de los elementos elaborados, siendo necesario aumentar el número de golpes recomendados en la norma de 30 a 40 golpes por capa, para de esa manera evitar, que estos elementos quedaran con cantidades de vacios considerables que pudieran comprometer seriamente la resistencia de los mismos.

#### 4.6.-Análisis de granulometría e índice de consistencia.

**TABLA 4. 7.1**  
*Granulometría del lodo.*

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)	Retenido parcial (%)
50,8	100,00	100,00	0,00	0,00
38,1	100,00	100,00	0,00	0,00
19,1	100,00	100,00	0,00	0,00
9,5	100,00	100,00	0,00	0,00
4,76	100,00	100,00	0,00	0,00
2	99,86	99,86	0,14	0,14
0,84	99,39	99,39	0,61	0,47
0,42	99,12	99,12	0,88	0,27
0,250	98,95	98,95	1,05	0,17
0,149	98,66	98,66	1,34	0,30
0,074	98,39	98,39	1,61	0,56

**TABLA 4. 7.2.**  
*Porcentajes de pasantes*

Pasa tamiz Nº 4 (5mm):	100.00	%
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):	98,39	%

**TABLA 4.7.3**  
*Clasificación del lodo según el Sistema unificado de clasificación de Suelos*

<b>Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)</b>
Suelo de partículas finas.
Limo baja plasticidad ML

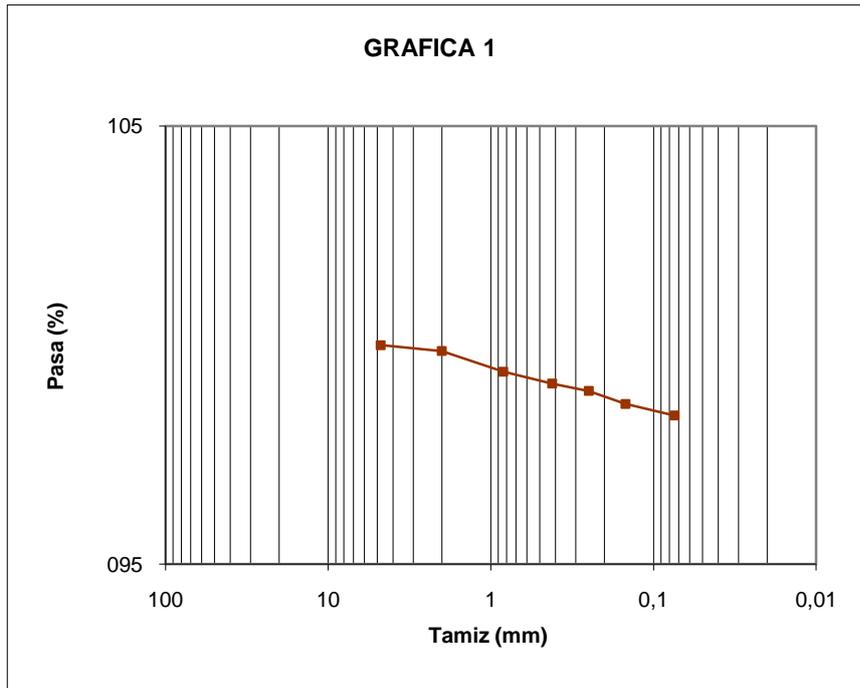


GRAFICO RESULTANTE DEL ENSAYO GRANULOMETRICO DEL LODO

Mediante los resultados obtenidos contenidos en las **TABLA 4.S 7.1, 7.2, 7.3** complementado por la **GRAFICA 1** se puede observar lo siguiente:

- La mayoría de las partículas que constituyen el lodo de la Planta de Potabilización La Mariposa, es pasante del tamiz 200, lo cual demuestra que este está constituido por partículas muy finas.
- El material ensayado no presentó plasticidad, lo cual nos hace presumir que la presencia de arcillas en este lodo son de poca incidencia.
- Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo, el material analizado cumple con las características de un limo de baja plasticidad (ML)

**4.7.- Corroboración del diseño de mezcla.**

**TABLA 4.8.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 5 DIAS,  
(DISEÑO DE MEZCLA).**

MEDIDAS							
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,92	14,84	14,99	15,01	15,02	15,01	14,97
C2	15,01	15,01	15,04	15,07	15,08	15,07	15,05
C3	15,08	15,12	15,06	15,04	15,01	15,03	15,06

**TABLA 4.8.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 5 DIAS,  
(DISEÑO DE MEZCLA).**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,39	30,30	30,35	12,62
C2	30,19	30,22	30,21	12,55
C3	30,43	30,45	30,44	12,45

**TABLA 4.8.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 5 DIAS, (DISEÑO DE MEZCLA).**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	35503,73	201,85	200,91
C2	31568,29	177,53	178,64
C3	35729,92	200,67	202,19

*Esfuerzo promedio: 193,35 Kgf/cm<sup>2</sup>*

Posterior a la realización de la mezcla, elaboración de los elementos y ensayo a compresión de los mismos 5 días después, se evidencia en la **TABLA 4.8.2**, que el esfuerzo promedio de los cilindros es de 193,35 kgf/cm<sup>2</sup>, que aun y cuando es mayor que el 60% del esfuerzo al cual fue diseñado, se considera como un valor aceptable ya que la diferencia al valor esperado no era tan considerable.

**4.8.- Ensayos a compresión.**

**4.8.1.-Cilindros Patrón.**

**TABLA 4.9.1-A**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DÍAS, SIN SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO (CILINDROS PATRÓN).**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,97	14,98	14,99	15,02	15,09	15,03	15,01
C2	15	15,11	14,98	14,97	15,07	15,03	15,03
C3	14,97	14,95	14,94	15,06	15,01	15,02	14,99

**TABLA 4.9.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DÍAS, SIN SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO (CILINDROS PATRÓN).**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,23	30,25	30,24	12,284
C2	30,17	30,16	30,165	12,466
C3	30,11	30,15	30,13	12,489

**TABLA 4.9.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, SIN SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO CILINDROS PATRON.**

CALCULO DE RESISTENCIA			
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	42335,51	239,14	239,57
C2	40571,90	228,78	229,59
C3	39410,89	223,27	223,02

***Esfuerzo promedio: 230,39 Kgf/cm<sup>2</sup>***

***Desviación Estandar: 8,06***

**TABLA 4.10.1-A**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, SIN**  
**SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO**  
**(CILINDROS PATRON).**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,39	30,30	30,35	12,62
C2	30,19	30,22	30,21	12,55
C3	30,43	30,45	30,44	12,45

**TABLA 4.10.1-B**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, SIN**  
**SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO**  
**(CILINDROS PATRON).**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,39	30,30	30,35	12,62
C2	30,19	30,22	30,21	12,55
C3	30,43	30,45	30,44	12,45

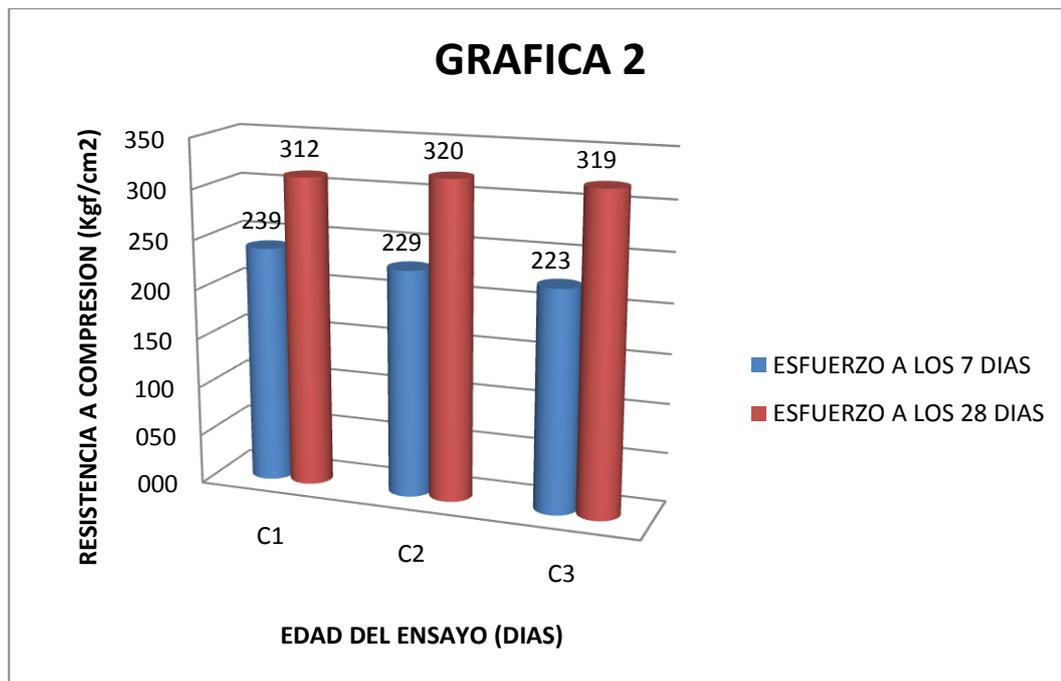
**TABLA 4. 10.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, SIN SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO (CILINDROS PATRON).**

CALCULO DE RESISTENCIA			
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	54958,24	312,46	311,00
C2	56854,38	319,74	321,73
C3	56879,12	319,45	321,87

*Esfuerzo promedio: 317,22 Kg/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 4,12*



**GRAFICA DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS PATRON**

**4.8.2.-Cilindros con un contenido de 10% de lodo.**

**TABLA 4.11.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,95	15,03	15,03	15,02	15,03	15,04	15,02
C2	15,00	14,91	15,14	15,11	15,00	15,05	15,04
C3	15,16	15,11	15,20	15,18	15,11	15,03	15,13

**TABLA 4.11.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,41	30,35	30,38	12,01
C2	30,22	30,29	30,26	11,90
C3	30,12	30,17	30,15	11,97

**TABLA 4.11.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	27389,00	154,65	155,00
C2	27373,00	154,18	155,00
C3	28348,00	157,64	160,41

***Esfuerzo promedio: 155,49 Kg/cm<sup>2</sup>***

***Desviación Estandar: 1,88***

**TABLA 4.12.1-A**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON**  
**10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

MEDIDAS							
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,95	14,91	15,01	15,05	15,03	15,06	15,00
C2	15,01	15,03	14,95	15,01	14,93	14,98	14,99
C3	15,01	15,07	15,06	15,11	15,07	15,11	15,07

**TABLA 4. 12.1-B**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON**  
**10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,43	30,55	30,49	11,97
C2	30,55	30,43	30,49	12,35
C3	30,31	30,27	30,29	12,04

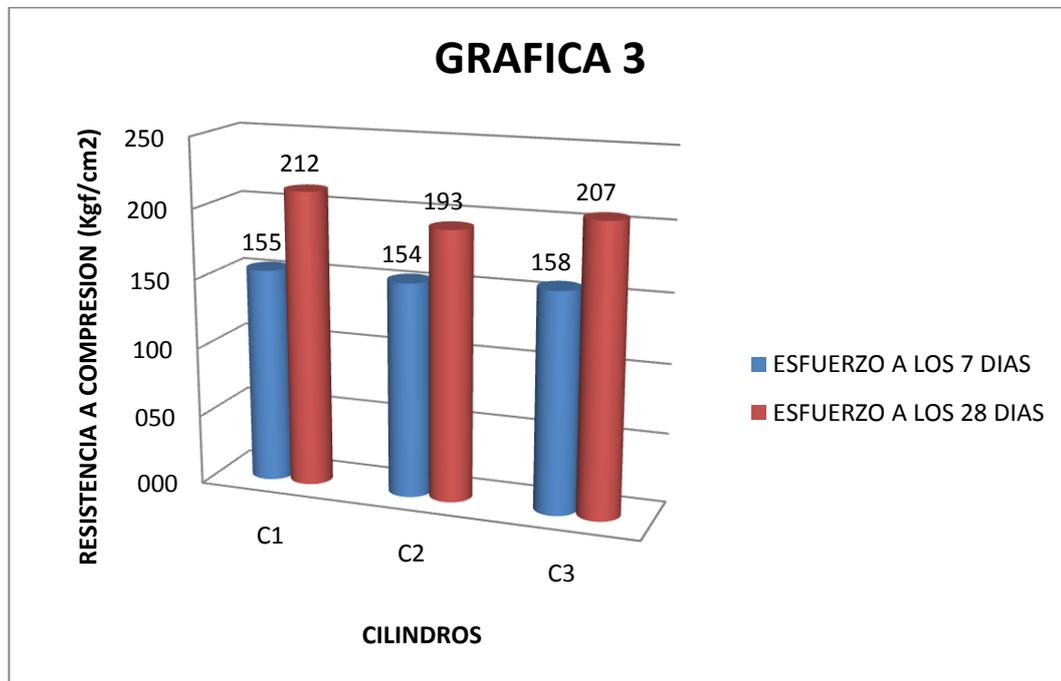
**TABLA 4.12.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 10% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

CALCULO DE RESISTENCIA			
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	37560,00	212,50	212,54
C2	34085,00	193,27	192,88
C3	36861,00	206,61	208,59

*Esfuerzo promedio: 204,13 Kgf/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 9,85*



**GRAFICA DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS CON UN CONTENIDO DE 10% DE LODO**

**4.8.3.-Cilindros con un contenido de 20% de lodo.**

**TABLA 4.13.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,22	30,27	30,25	10,95
C2	30,23	30,22	30,23	11,18
C3	30,27	30,32	30,30	10,83

**TABLA 4.13.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,22	30,27	30,25	10,95
C2	30,23	30,22	30,23	11,18
C3	30,27	30,32	30,30	10,83

**TABLA 4.13.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	22876,00	129,25	129,45
C2	26628,00	150,28	150,68
C3	23115,00	129,68	130,08

*Esfuerzo promedio: 136,40 Kg/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 12,02*

**TABLA 4.14.1-A**  
**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON**  
**20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	15,03	15,11	15,01	15,07	15,02	15,07	15,05
C2	14,84	14,95	15,19	15,15	15,18	15,11	15,07
C3	15,03	15,07	15,04	15,05	15,06	15,11	15,06

**TABLA 4.14.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON**  
**20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,31	30,45	30,38	11,70
C2	30,61	30,57	30,59	12,03
C3	30,63	30,59	30,61	12,04

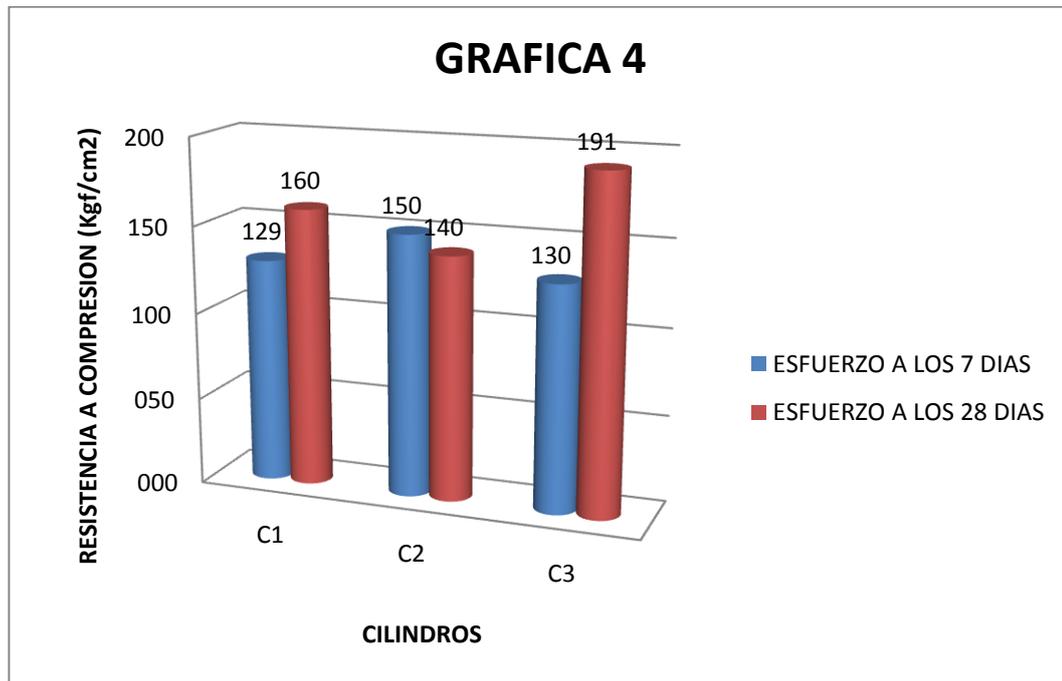
**TABLA 4.14.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 20% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	28458,00	159,94	161,04
C2	24986,00	140,08	141,39
C3	34097,00	191,42	193,95

*Esfuerzo promedio: 163,81 Kg/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 25,88*



**GRAFICA DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS CON UN CONTENIDO DE 20% DE LODO**

4.8.4.-Cilindros con un contenido de 30% de lodo.

**TABLA 4.15.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,21	30,17	30,19	10,79
C2	30,34	30,21	30,28	11,51
C3	30,05	30,18	30,12	11,12

**TABLA 4.15.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,21	30,17	30,19	10,79
C2	30,34	30,21	30,28	11,51
C3	30,05	30,18	30,12	11,12

**TABLA 4.15.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
	C1	7404,34	41,78
C2	12900,16	72,29	73,00
C3	11309,73	63,76	64,00

*Esfuerzo promedio: 59,28 Kgf/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 15,74*

**TABLA 4.16.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	15,03	14,98	15,01	15,09	14,91	15,05	15,01
C2	15,18	15,03	15,19	15,15	15,21	15,23	15,17
C3	15,08	15,01	15,03	15,01	15,01	15,06	15,03

**TABLA 4. 16.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA			PESO (kgf)
	ALTURA (cm)	DEF. (cm)		
	1	2		
C1	30,14	30,17	30,16	11,54
C2	30,27	30,23	30,25	11,69
C3	30,18	30,11	30,15	11,23

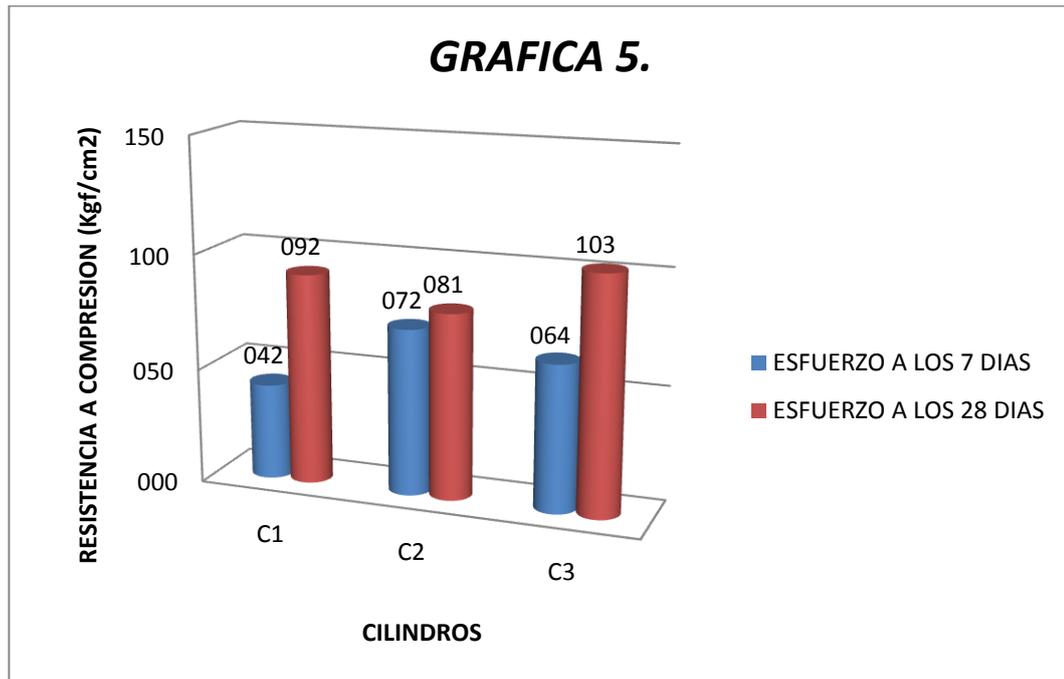
**TABLA 4. 16.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 30% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	16220,00	91,64	91,79
C2	14557,00	80,59	82,38
C3	18201,60	102,54	103,00

*Esfuerzo promedio: 91,59 Kgf/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 10,98*



**GRAFICA DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS CON UN CONTENIDO DE 30% DE LODO**

**4.8.5.-Cilindros con un contenido de 50% de lodo.**

**TABLA 4. 17.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,94	14,98	15,00	14,97	15,01	15,02	14,99
C2	15,21	15,17	15,18	15,16	15,04	15,11	15,15
C3	14,94	15,01	15,05	15,08	14,89	14,95	14,99

**TABLA 4. 17.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS			
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,30	30,31	30,31	11,70
C2	30,50	30,45	30,48	11,79
C3	30,23	30,22	30,23	11,87

**TABLA 4. 17.2**

**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 7 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	CALCULO DE RESISTENCIA		
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	5265,00	29,85	29,80
C2	5459,00	30,30	30,89
C3	6279,00	35,60	35,53

*Esfuerzo promedio: 31,91 Kg/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 3,19*

**TABLA 4. 18.1-A**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

	MEDIDAS						
	DIAMETRO BAJO (cm)		DIAMETRO MEDIO (cm)		DIAMETRO TOPE (cm)		DIAMETRO DEF. (cm)
	1	2	1	2	1	2	
C1	14,85	14,93	15,04	14,97	14,95	14,97	14,95
C2	15,03	14,98	15,01	15,06	15,08	15,03	15,03
C3	15,18	15,11	14,97	15,02	14,94	15,01	15,04

**TABLA 4. 18.1-B**

**DIMENSIONES DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

MEDIDAS				
	ALTURA (cm)		ALTURA DEF. (cm)	PESO (kgf)
	1	2		
C1	30,32	30,27	30,30	10,95
C2	30,31	30,31	30,31	10,94
C3	30,26	30,23	30,25	11,18

**TABLA 4. 18.2**

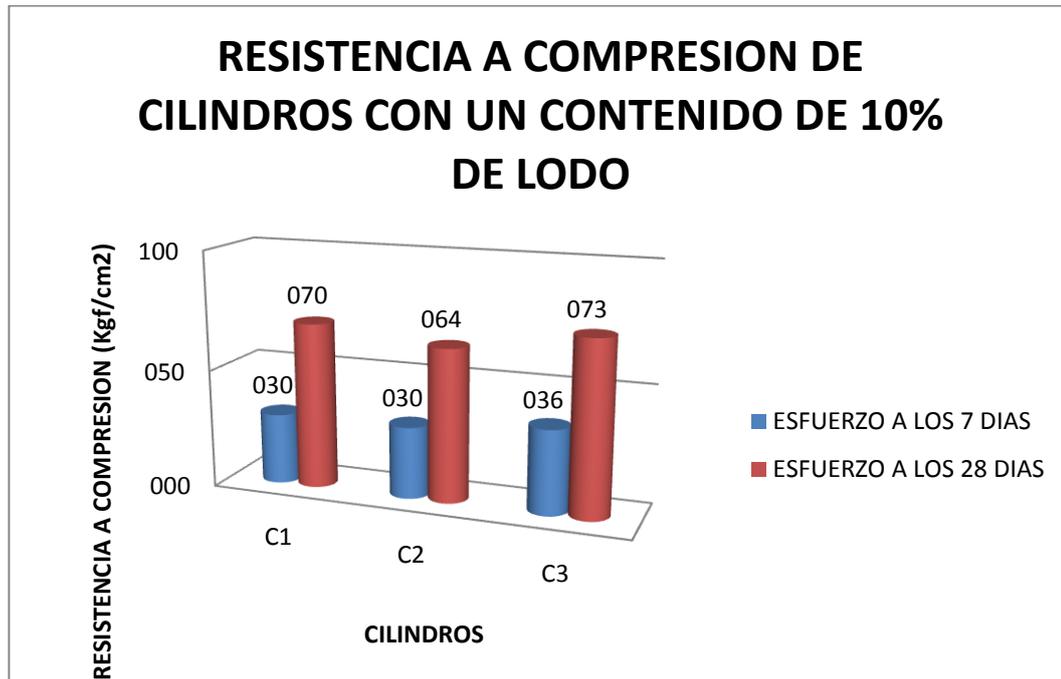
**CALCULO DE RESISTENCIA DE CILINDROS ENSAYADOS A LOS 28 DIAS, CON 50% DE SUSTITUCION DE AGREGADO FINO POR LODO.**

CALCULO DE RESISTENCIA			
	CARGA (kgf)	ESFUERZO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO MAQUINA (kgf/cm <sup>2</sup> )
C1	12286,00	69,97	69,53
C2	11429,00	64,40	64,68
C3	13006,00	73,22	73,60

*Esfuerzo promedio: 69,20 Kgf/cm<sup>2</sup>*

*Desviación Estandar: 4,46*

**GRAFICA 6.**



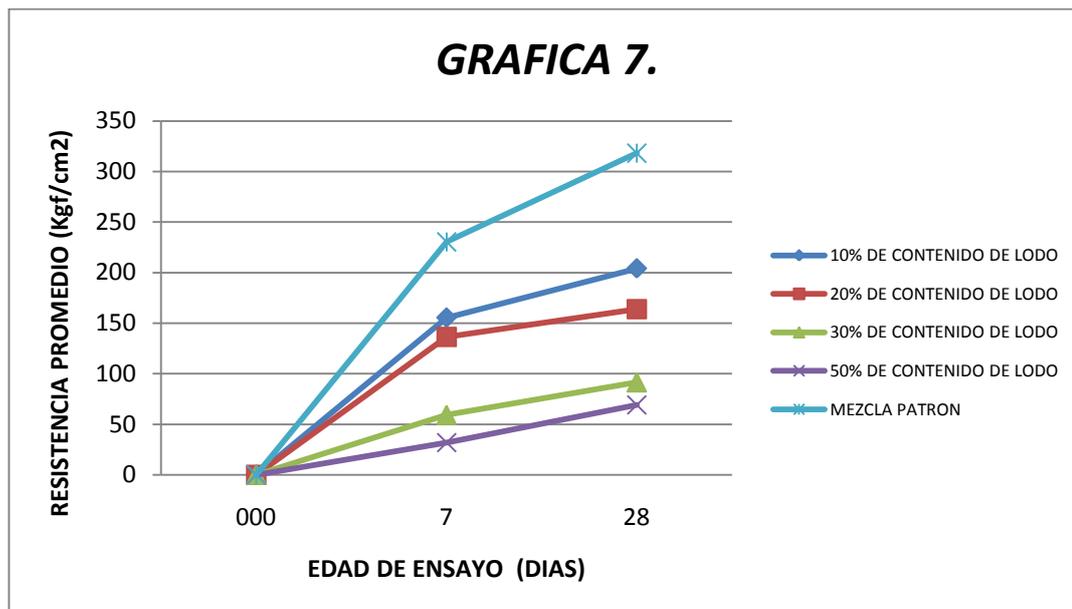
**GRAFICA DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS CON UN CONTENIDO DE 50% DE LODO**

**4.8.6.-Resitencias promedios.**

**TABLA 4.19.1**

**RESISTENCIA PROMEDIO (kgf/cm<sup>2</sup>)**

MEZCLA	RESISTENCIA PROMEDIO (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	7 DIAS	28 DIAS
MEZCLA PATRON	230,40	318,20
MEZCLA 10%	155,49	204,13
MEZCLA 20%	136,40	163,81
MEZCLA 30%	59,28	91,59
MEZCLA 50%	31,91	69,20



**GRAFICA DE LAS RESISTENCIAS PROMEDIOSBTENIDAS ENLOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS 7 DIAS Y A LOS 28 DIAS.**

La resistencia promedio a la compresión, obtenida en la Mezcla Patrón ensayada a los 28 días contenida en la **TABLA 4. 10.2** la cual fue de 317 kgf/cm<sup>2</sup>, se considera bastante buena, ya que la desviación estándar utilizada al momento del diseño de la mezcla era de 60, permitiendo obtener valores de resistencia alrededor de los 310 kgf/cm<sup>2</sup>, según cálculos teóricos.

Otro punto importante a recalcar, es que partir de la información contenida en la **TABLA 4.9.2** y la **TABLA 4.10.2**, se puede observar que los valores obtenidos a través de los ensayos a compresión, presentan una desviación estándar, entre cada grupo, pequeña lo que nos hace ver que el nivel de precisión, que ofrecen estos resultados son muy buenos, comentario el cual se ve reflejado en la **GRAFICA 2**.

La **TABLA 4.13.2** y La **TABLA 4.14.2**, se aprecia que la resistencia desarrollada por esta mezcla entre los 7 y los 28 días fue muy poca, ya que a los 7 días los elementos elaborados con esta mezcla, poseían alrededor del 83,26% de la resistencia total que presentaría la misma transcurrido los 28 días. Y que además la dispersión de los valores obtenidos después de los ensayos, medidos a

través de la desviación estándar, y visibles a través de la **GRAFICA 4**, nos hace presumir que incurrimos en algún error difícil de determinar, ya que para los ensayos realizados a los 7 días (ver **TABLA 4.13.2**) existe un cilindro que posee una resistencia mucho mayor a la reportada por los otros ensayados a la misma edad y elaborados con la misma mezcla. Detalle que se observa nuevamente en los resultados obtenidos en los ensayos de la misma mezcla realizados a los 28 días (ver **TABLA 4.14.2**).

De la **TABLA 4.18.1** en conjunto con la **GRAFICA 6**, se observan que ningunas de las mezclas en las cuales se sustituyó un porcentaje del agregado fino por lodo, alcanzó la resistencia de diseño  $250 \text{ kgf/cm}^2$ , siendo la más cercana la mezcla donde se sustituyó el 10% de agregado fino por el lodo previamente acondicionado por tratamiento térmico.

También de la **TABLA 4.19.1** en conjunto con la **GRAFICA 7** se aprecia que mientras mayor presencia de lodo en la mezcla menor la resistencia a la compresión que ofrece el elemento, reacción que podría deberse a la presencia de una cantidad superior de partículas con una superficie de contacto mayor, ocasionando que la pasta de cemento necesaria para generar la misma resistencia de una mezcla convencional, tendría que ser mayor, aumentando de igual manera el costo de los elementos elaborados con mezclas de este tipo.

Finalmente se hace necesario mencionar, que aun y como ya se hizo referencia, los resultados no fueron los esperados, pero el comportamiento de las mezclas hechas con un porcentaje de lodo y la mezcla patrón no presentaron diferencias en cuanto al tiempo de fraguado, debido a que en todos los casos, pasada las 24 horas de ser elaborados los elementos, se procedía a realizar las labores de desencofrado y curado de los mismos, sin observarse síntomas de debilidad ni problemas, en ninguno de los cilindros.

#### 4.9- Pesos promedios.

**TABLA 4.20.1**

**PESO PROMEDIO DE MEZCLAS A 7 DIAS**

	<b>PESO PROMEDIO DE MEZCLAS A 7 DIAS</b>
<b>M. PATRON</b>	12,41
<b>M. 10% LODO</b>	11,96
<b>M. 20% LODO</b>	10,98
<b>M. 30% LODO</b>	11,14
<b>M. 50% LODO</b>	11,02

**TABLA 4.20.2**

**PESO PROMEDIO DE MEZCLAS A 28 DIAS**

	<b>PESO PROMEDIO DE MEZCLAS A 28 DIAS</b>
<b>M. PATRON</b>	12,54
<b>M. 10% LODO</b>	12,12
<b>M. 20% LODO</b>	11,92
<b>M. 30% LODO</b>	11,49
<b>M. 50% LODO</b>	11,02

De las **TABLA 4.20.1 Y 4.20.2** se observa que a medida que aumenta la cantidad de lodo en las mezcla, disminuye el peso de los elementos elaborados con estas mezclas aun y cuando se observa que existe una pequeña discrepancia en el comportamiento en la mezcla con contenido de 20% de lodo, la cual podría deberse a algún problema en el momento de la elaboración de los mismos.

## CAPITULO V

### 5.1-CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a través de este trabajo especial de grado, son muy importantes ya que permitió despejar una serie de preguntas surgidas a partir del trabajo de investigación previos, que seguían la misma línea de investigación.

- En términos de resistencia para concreto estructural no se considera factible el uso de este lodo como agregado fino para la elaboración de concreto estructural.
- El manejo del lodo sin tratamiento resulta bastante complicado por ser un fluido bastante pastoso y putrefacto.
- La eliminación de materia orgánica en el lodo para lograr ser utilizado como agregado en el concreto estructural se produjo al exponer el lodo a 650° C por 20 minutos.
- El 98,39% de las partículas que constituyen el lodo de la Planta de potabilización “La Mariposa”, es pasante del tamiz 200, lo cual, demuestra que el lodo está constituido por partículas muy finas, del tipo limo.
- Se afirma que el lodo estudiado es un material limo según clasificación unificada de los suelos.

- El lodo obtenido de la Planta de Tratamiento y Potabilización de Agua “La Mariposa” presenta baja plasticidad.
- Se obtuvo mejoras en la consistencia del concreto estructural, ya que, al eliminar la carga de materia orgánica que poseen los lodos se observó que las mezclas realizadas no presentaron problemas de disgregación de los componentes del concreto estructural al ser ensayados por el método de medición de asentamiento con el cono de Abramhs. COVENIN 339-2003.
- Se comprueba que el uso del lodo tratado y estudiado en este trabajo para ser utilizado como agregado de fino en la elaboración de mezclas de concreto con Cemento Portland con Caliza Añadida 2 (CPCA-2).
- La utilización del Cemento Maestro CPCA-2, de la Corporación Socialista de Cemento, S.A, se llevo a cabo por no haber disponibilidad o existencia de Cemento Portland tipo I (sin añadiduras) o tipo III.
- A medida que aumentan las cantidades de lodo en las mezclas de concreto, la trabajabilidad de las mismas disminuye. Tal es el caso que para el 10% de sustitución de arena por lodo el asentamiento es de 8 cm, que para una sustitución de arena por lodo de 30% y 50 %, los asentamientos son 6,5 cm y 4 cm, respectivamente.
- Al aumentar las cantidades de lodos en las mezclas disminuye el peso de de las probetas de concretos. Se demuestra al comparar el promedio los pesos de las probetas de concreto patrón que es de 12,54 kgf, mientras que los promedios de las probetas de concreto con 10%, 30% y 50% de sustitución de arena por lodo son de 12,12 kgf, 11,49 kgf y 11,02 kgf, respectivamente.

## **5.2.-RECOMENDACIONES.**

- La recolección de lodo en la planta de tratamiento y potabilización de agua “La Mariposa” se debe realizar bajo medidas de seguridad laboral estrictas y con el acompañamiento de personal calificado que labora en la planta.
- Desarrollar un trabajo de investigación en el cual se compare la resistencia de mezclas elaboradas con cemento CPCA-2 y Cemento Portland TIPO I (sin añadiduras) o TIPO III.
- Tomar previsiones en futuras plantas de potabilización de disponer de lechos de secado que faciliten la extracción del lodo.
- Aun y cuando los valores obtenidos no fueron los esperados, se recomienda seguir estudiando los potenciales usos de estos lodos con niveles de materia orgánica aceptable según la norma COVENIN 277-2000 como material de construcción, como por ejemplo: en la elaboración bloques.

## REFERENCIAS.

Arboleda, J. (1992). *Arboleda J, (1992). "Teoría y Práctica de la purificación del agua". Capítulo I. Bogotá: Ediciones de la Universidad de los Andes. Bogota: Ediciones de la Universidad de los Andes.*

Blanco, H. (2006). Clases de Potabilización.

CEPIS. (2004). <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/042019/042019-02.pdf>.

COVENIN 339-2003. (s.f.). Concreto. Metodo Para La Medicion Del Asentamiento Con El Cono De Abrams. CARACAS, DISTRITO CAPITAL, VENEZUELA: FONDONORMA.

COVENIN 1681-80. (s.f.). Método de ensayo para determinar la velocidad y propagación de onda en el concreto. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 256-77. (s.f.). Método de ensayo para la determinación cualitativa de impurezas orgánicas en arenas para concreto. (Ensayo Colorimétrico). CARACAS, VENEZUELA: FONDONORMA.

COVENIN 277-2000. (s.f.). Concreto. Agregado. Requisitos. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 28-2003. (s.f.). Cemento Portland Requisitos. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 338-2002. (s.f.). Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 344-2002. (s.f.). Concreto fresco. Toma de muestra. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 484-93. (s.f.). Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de probetas cubicas de 50,8mm de lado. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

Herrera R., W. J. (FEBRERO de 2006). ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL LODO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION. CARACAS, DISTRITO FEDERAL, VENEZUELA.

Marquez, D. M. (2009). COMPORTAMIENTO MECANICO Y FISICO DE MEZCLAS DE LODO CEMENTO CON BAJO CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA PARA USO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. CARACAS, DISTRITO CAPITAL, VENEZUELA.

MINCI. (28 de SEPTIEMBRE de 2008). *WWW.MINCI.GOB.VE*. Obtenido de [http://www.minci.gob.ve/reportajes/2/183781/venezuela\\_sobresale\\_en.html](http://www.minci.gob.ve/reportajes/2/183781/venezuela_sobresale_en.html)

Norma Venezolana 1753-2006. *Proyecto y construcción de obras en concreto estructural*. Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, j.; Velazco, G. (2008). *Manual del Concreto Estructural*. Impresiones Minipres, C.A.

Rendon B., L. M., & Salom E., N. J. (2009). COMPARACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO PARA MEZCLAS ELABORADAS CON CONCRETO TIPO CPCA-1 Y PORTLAND I. CARACAS, DISTRITO CAPITAL, VENEZUELA.

Sandoval, L. (2001). Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org>: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/005.pdf>

# ANEXOS

# ANEXO 1



Gobierno Bolivariano  
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular  
para las Obras Públicas y Vivienda



<b>ENSAYO DE AGREGADO FINO</b>	Código del Documento: <b>PC-CCR-01</b>	
	Revisión: <b>2</b>	Nº de Pág: <b>1 de 1</b>
	Fecha de Elaboración: <b>Dec-09</b>	

Cacacas, 5-May-2010

**MATERIAL:** ARENA (Entrada a Planta)

**ENSAYO SOLICITADO POR:** LABORATORIO

**MUESTRA SACADA POR:** ANGEL REYES

**FECHA:** ABRIL

**ENTREGADO POR:** ANGEL REYES

**FECHA:** ABRIL

**PROCEDENCIA:** F.N.C CONCRETOS

**USO REQUERIDO:** AGREGADO PARA CONCRETO

**PROCEDENCIA:** ARENERA LA MILAGROSA

### ENSAYO GRANULOMETRICO

CEDAZO	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDOS ACUMULA	% PASANTES
1/2"				
3/8"	23	2,3	2,3	97,7
1/4"		0,0	2,3	97,7
# 4	241	24,1	26,4	73,6
# 8	217	21,7	48,1	51,9
# 16	177	17,7	65,8	34,2
# 30	147	14,7	80,5	19,5
# 50	112	11,2	91,7	8,3
# 100	58	5,8	97,5	2,5
# 200	16	1,6	99,1	0,9
Fondo	9	0,9	100,0	0,0
Peso T.	1000 g			

GRAFICO GRANULOMETRICO AGREGADO FINO

Porc. Pasante (Cyan line with 'x' markers), Limite Inf. Norma (Red line), Limite Sup. Norma (Blue line)

**MODULO DE FINURA (MF) = 4,12**

**PESO ESPECIFICO**

Desidad Muestra-Envase:	663,69 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del Envase:	165 g
Peso del Envase-H <sub>2</sub> O:	662 g
P. del Envase-H <sub>2</sub> O-Muestra	972 g
Peso de La Muestra:	500 g
Desidad del H <sub>2</sub> O:	0,99797 cm <sup>3</sup>
<b>P ESPECIFICO:</b>	<b>2,60 g/cm<sup>3</sup></b>

**FORCENTAJE DE ABSORCION**

Peso SSS:	500 g
Peso Seco:	483 g
<b>FORC ABS:</b>	<b>3,52 %</b>

**PESO UNITARIO SUELTO**

Temperatura:	22 °C
Peso Unitario H <sub>2</sub> O:	997,6268
Peso del Agua:	2,86 Kg
Peso Recipiente:	6,558 Kg
Peso Muest. + Recip.:	10,970 Kg
Peso Muestra:	4,42 Kg
Factor:	354,39673 m <sup>3</sup>

**PESO UNITARIO COMPACTO**

Temperatura:	22 °C
Peso Unitario H <sub>2</sub> O:	997,6268
Peso del Agua:	2,86 Kg
Peso Recipiente:	6,558 Kg
Peso Muestra + Recipiente:	11,600 Kg
Peso Muestra:	5,042 Kg
Factor:	354,39673 m <sup>3</sup>

**PESO UNITARIO SUELTO:** 1564 Kg/m<sup>3</sup>

**TAMIZ # 200**

Peso Lav.Ta # 200:	2,000 g
Peso Sec.D.Lav:	1,932 g
<b>TAMIZ # 200:</b>	<b>3,40 %</b>

**PESO UNITARIO COMPACTO:** 1787 Kg/m<sup>3</sup>

**FORCENTAJE EN SUSPENSION**

Cant de Mat en Suspensión:	32 cm <sup>3</sup>
Cant de Muestra:	500 g
<b>FORCENTAJE EN SUSPENSION</b>	<b>3,84 %</b>

**IMPUREZAS ORGANICAS**

Color N° 1  
 NO Contiene impurezas.

**PRESENCIA DE CLORUROS Y SULFATOS**

Cloros:  SI  NO  
 Sulfatos:  SI  NO

Fecha: 05/05/10 Realizado por: Angel Reyes Revisado por: Ing. Geicy Ramos

Normas utilizadas en la elaboración del informe: Covenin 254,256,258,259,263,268,270,277.



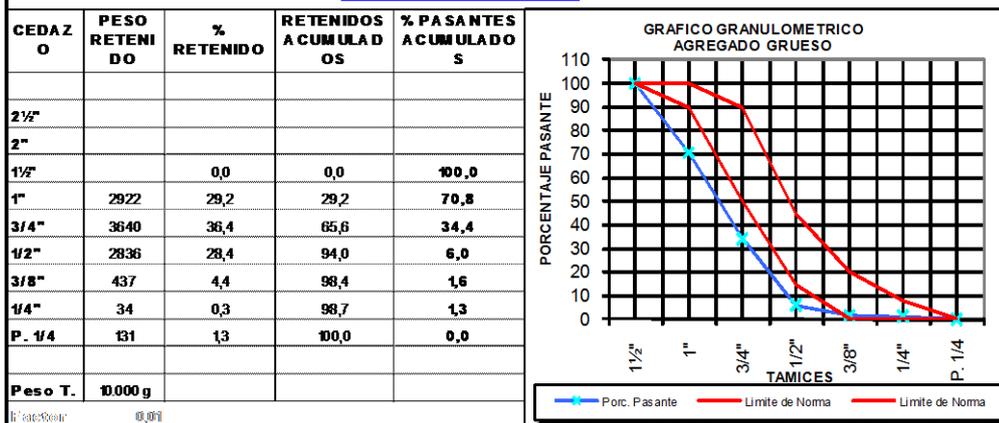
# ANEXO 2

PC-CC-R-02  
Caracas, 1 Dec-2009

## ENSAYO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: PIEDRA #1  
 ENSAYO SOLICITADO POR: F.N.C. CONCRETOS  
 MUESTRA SACADA POR: ANGEL REYES FECHA: NOVIEMBRE  
 MUESTRA ENTREGADA POR: ANGEL REYES FECHA: NOVIEMBRE  
 PROCEDENCIA: F.N.C. CONCRETOS  
 USO REQUERIDO: AGREGADO PARA CONCRETO  
 MATERIAL PRODUCIDO O VENDIDO POR: CANTERA LA S MARIA S

### ENSAYO GRANULOMETRICO



### PESO ESPECIFICO

Peso en el Aire: 8.000 g  
 Peso en el Agua: 5.009 g  
**P ESPECIFICO:** 2,67 g/cm<sup>3</sup>

### PORCENTAJE DE ABSORCION

Peso Mues.S.S.: 8000 g  
 Peso Seco: 7.897 g  
**PORC ABS:** 1,30 %

### PESO UNITARIO SUELTO

Temperatura: 23 °C  
 Peso Unitario H2O: 997,3962  
 Peso del Agua: 4,130 Kg  
 Peso Recipiente: 7,508 Kg  
 Peso Muestr. +Recip.: 26,663 Kg  
 Peso Muestra: 19,155 Kg  
 Factor: 70,5873 m<sup>3</sup>

### PESO UNITARIO COMPACTO

Temperatura: 23 °C  
 Peso Unitario H2O: 997,3962  
 Peso del Agua: 4,130 Kg  
 Peso Recipiente: 7,508 Kg  
 Peso Muestra +Recipiente: 26,790 Kg  
 Peso Muestra: 21,282 Kg  
 Factor: 70,5873 m<sup>3</sup>

**PESO UNITARIO SUELTO:** 1.352 Kg/m<sup>3</sup>

**PESO UNITARIO COMPACTO:** 1.502 Kg/m<sup>3</sup>

### TAMIZ # 200

Peso Lav.Ta # 200: 5.000 g  
 Peso Sec.D.Lav.: 4.957 g  
**TAMIZ # 200:** 0,86%

### PORCENTAJE DE PART ( MAXIMAS Y MINIMAS )

Número Partículas Medidas: 50  
 Número de Part. Largas: 30  
 %Part. Largas: 60,00  
 Número de Part. Planas: 13  
 %Part. Planas: 26,00  
 Número de Part. Planilargas: 3  
 %Part. Planilargas: 6  
 Número de Partículas: 15  
**Porcentaje Max Min:** 30,00

Fecha: 01/12/09 Realizado por: Angel Reyes Revisado por: Gleicy Ramos

Normas utilizadas en la elaboración del informe: Covenin 254,255,258,269,270,277.

CCL-03