

**SÍNTESIS Y VALIDACIÓN DE CONCRETO TRASLUCIDO EMPLEANDO  
MATERIALES DEL CARIBE COLOMBIANO.**

**JORGE ARTURO VILLANUEVA GARCÍA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MAESTRIA EN INGENIERIA**

**CARTAGENA**

**2013.**

**SÍNTESIS Y VALIDACIÓN DE CONCRETO TRASLUCIDO EMPLEANDO  
MATERIALES DEL CARIBE COLOMBIANO.**

**JORGE ARTURO VILLANUEVA GARCÍA**

**TESIS DE GRADO**

**DIRECTORES:**

**ING. CIVIL GERMAN CASTAÑO RODRIGUEZ**

**M. Sc, JOSE MANUEL MARTINEZ GIL**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MAESTRIA EN INGENIERIA**

**CARTAGENA**

**2013.**

Nota de aceptación:

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

\_\_\_\_\_

Firma presidente del jurado

\_\_\_\_\_

Firma del jurado

\_\_\_\_\_

Firma del jurado

CARTAGENA. \_\_\_\_\_

## DEDICATORIA:

A Dios por darme la oportunidad de alargar mi vida y cumplir con metas que en aquella oportunidad no se habían cumplido.

A mi familia, que durante dos años, se han privado por momentos de presencia y apoyo a sus actividades cotidianas.

A mi esposa Martha del Socorro que con su apoyo, paciencia y buenas acciones, me han motivado constantemente para que salga adelante en este crecimiento que he tenido como profesional.

A la Universidad de la Costa (CUC) por haberme dado la oportunidad de superarme en lo profesional y lo académico.

A la Universidad del Atlántico, por darme la oportunidad de responder a un reto sin quitarme responsabilidades, eso hizo de mí un mayor crecimiento personal y profesional.

A la Universidad Tecnológica de Bolívar, por darme la oportunidad de cumplir un sueño en lo académico, y brindarme los recursos necesarios para salir adelante en esta empresa.

## AGRADECIMIENTOS

A mi hijo Jaime Arturo Villanueva Fernández, por su disponibilidad y apoyo cuando necesite ayuda de sus competencias.

A mi Director José Manuel Martínez Gil, por su dedicación, motivación, orientación y paciencia, sin su valiosa ayuda, no hubiese sido posible el desarrollo de esta investigación.

Al Profesor Ramón Antonio Matos Mareño, por su tiempo que le dedico a esta investigación.

A Harrison Manuel Pulido Cabrera, que con su apoyo en el laboratorio, fue posible obtener los resultados confiables y a tiempo.

A Norman José Jiménez Cuentas, con su apoyo al inicio de la investigación, fue posible descubrir el camino que nos condujo al final.

A los jóvenes investigadores de los grupos Catálisis y Materiales de la Universidad del Atlántico y Suelos y Estructuras de la Universidad de la Costa; Álvaro De Jesús Enzuncho, Karilin Paola Torres Cuervo, Víctor Hernández Morales y Aldemar Polo Vives, los cuales aportaron un granito de arena para que este proyecto fuera posible

# ÍNDICE

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	0
ABSTRACT.....	2
<b>CAPITULO 1</b> .....	4
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>1.1. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CONCRETO</b> .....	7
1.1.1 EL CEMENTO. ....	7
I. Tabla 1. Resumen de CO <sub>2</sub> (incluido su distribución en el MP-CO <sub>2</sub> , EIA-CO <sub>2</sub> y EDA-CO <sub>2</sub> ), SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> y las emisiones de PHC para el cemento Portland expresan en g/kg de cemento* o g/kg Clinker.** [4,6,8-16,19,20] .....	10
<b>1.2. MATERIALES CEMENTANTES</b> .....	11
<b>1.3. EL AGUA</b> .....	12
1.4 ADITIVOS. ....	12
<b>1.5. AGREGADOS FINO Y AGREGADO GRUESO</b> .....	13
1.6. DIFERENCIAS Y SIMILITUDES DE LOS CONCRETOS.....	14
1.7. ALCANCES Y PERSPECTIVAS DE ESTE TRABAJO.....	15
1.8 HIPÓTESIS.....	15
1.9 OBJETIVO GENERAL.....	16
<b>1.9.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	16
<b>CAPITULO II</b> .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	17
2.1 CONCRETO TRADICIONAL. ....	17
2.1.1 MORTERO.....	17
<b>2.1.2. DISEÑOS DE MEZCLAS</b> .....	18
2.2 CEMENTOS .....	25
2.2.2 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND.....	25
2.2.3 PROPIEDADES DEL CEMENTO .....	26
2.2.4 CEMENTOS INDUSTRIALES.....	31
2.2.5 ADICIONES AL CEMENTO .....	32

2.3. CONCRETO TRASLUCIDO.....	38
2.3.1. HISTORIA DEL CONCRETO TRASLUCIDO. ....	38
2.3.2. APLICACIONES DEL CONCRETO TRASLUCIDO. ....	39
2.4. COMPONENTES DEL CONCRETO TRASLUCIDO. ....	40
<b>2.4.1. EL VIDRIO.</b> .....	40
<b>CAPITULO III</b> .....	48
<b>3. PROCESO DE INVESTIGACION</b> .....	48
3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES CONDUCTENTES AL DISEÑO DE MEZCLA. ....	48
3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE, GRANO FINO Y GRANO GRUSO.....	49
3.1.2. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUSOS. ....	53
3.1.3. DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS DE LOS MATERIALES GRANULARES.....	58
3.1.4. DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES DE LOS CEMENTOS. ....	59
3.1.5. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LOS CONCRETOS: .....	61
3.1.6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO: .....	62
3.1.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS CONCRETO: .....	62
3.1.8. RELACIÓN AGUA CEMENTO DE LOS CONCRETOS.....	62
3.1.9. CONTENIDO DE CEMENTO DE LOS CONCRETOS:.....	62
3.1.10. PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS EN LOS CONCRETOS. ....	62
3.1.11. EL DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS. ....	63
3.2 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS. ....	67
3.2.1 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL CONCRETOS TRADICIONAL.....	68
3.2.2 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL CONCRETOS TRASLUCIDO. ....	71
3.3 DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS. ....	73
3.3.1. DETERMINACIÓN DE LA TRASLUCIDEZ A LOS CONCRETOS. ....	76
3.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS. ....	78
3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS. ....	79
3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS. ....	80

3.3.5. DETERMINACIÓN DEL DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.....	86
CAPITULO IV.....	87
4. RESULTADOS.....	87
4.1 RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.....	87
4.1.1. RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES.....	87
4.1.2. RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRASLUCIDOS. ....	94
4.2 RESULTADOS FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS.....	100
4.2.1. ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES.....	100
4.2.2. ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS. ....	101
4.3 RESULTADOS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.....	102
4.3.1. TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS. ....	102
4.3.2. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS. ....	108
4.3.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS. ....	109
4.3.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.....	112
4.3.5. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS.....	119
CAPITULO V.....	121
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	121
5.1 EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.....	121
5.2 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS. ....	125
5.2.1. EVALUACION DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS.....	126
5.2.2 PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS.....	127
5.2.3. PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS CON ADICIONES DE FLÚOR.....	128

5.3. EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS.	129
5.4. EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.	130
5.4.1 COMPARACION DE TRATAMIENTOS (TIPO DE MATERIALES Y RESISTENCIA A LA COMPRESION).	131
5.4.2 ESTIMACIÓN DE PARAMETROS PARA CONCRETOS SOMETIDOS A COMPRESION.	132
5.4.3 Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la Compresión por Tipo de material ..	132
5.4.4 VERIFICACION DEL CUMPLIMIENTO DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO PARA CONCRETOS SOMETIDOS A LA COMPRESION.	133
5.5. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.	135
5.5,1 COMPARACION DE TRATAMIENTOS (TIPO DE MATERIALES Y RESISTENCIA A LA FLEXION).	137
5.5.2 ESTIMACION DE PARAMETROS PARA RESISTENCIA A LA FLEXION.	138
5-5-3 Prueba de Múltiple Rango Para Resistencia a la flexión por tipo de material.	138
5.5.4 VERIFICACION DEL CUMPLIMIENTO DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO.	139
5.6. EVALUACIÓN DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS.	140
5.7. COMPARACIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS FABRICADOS HASTA EL MOMENTO.	141
CAPITULO VI	143
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	143
6.1 CONCLUSIONES:	143
6.2 RECOMENDACIONES.	145
CAPITULO VII	146
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	146
8 ANEXOS	155

## RESUMEN

En este trabajo se obtuvieron dos series de concretos, tradicionales y traslucidos. Los concretos traslucidos son materiales que forman parte de una gama de innovaciones tecnológicas, cuya singularidad lo ponen a la vanguardia de la Síntesis Inorgánica, Industria de la Construcción y en la frontera de las Ciencias de los Materiales. Para la fabricación de estos compositos se combinaron materiales convencionales como cementante, áridos y aditivos, modificando en este caso el cementante y el porcentaje de los áridos, en algunos casos se introdujo el flúor como aditivos en proporción 0.5 %, 1 %, 1.5 % y 2 % en relación a la masa total del concreto traslucido, en otros caso se introdujo anilina como aditivo.

Para hacer cumplir los objetivos del proyecto, fue necesario aplicar varias técnicas y metodologías conducentes a la validación de las propiedades físicas y mecánicas de los componentes de los concretos y de los concretos como tal. Al comparar las propiedades de los concretos tradicionales y concretos traslucidos se evidencio que los valores numéricos obtenidos para los concretos traslucidos siempre son mejores para cualquier propiedad. De todas estas propiedades es de interés especial la masa por metro cubico de los concretos, cuyos valores son  $2.551.6 \text{ kg/m}^3$  y  $2.548.5 \text{ kg/m}^3$  para concretos tradicionales y  $2.291.7 \text{ kg/m}^3$  y  $2.220.7 \text{ kg/m}^3$  para concretos traslucido a resistencias de 3000 Psi (21 MPa) y 3500 Psi (24,5 MPa) respectivamente.

Otras propiedades que tomaron relevancia son: la absorción con valores de 4.94 % para concretos tradicionales y 0.4 % para concretos traslucidos; contenido de agua con valores de 17.5 % y 15 % para concreto tradicionales, 12 % y 10 % para los concretos traslucidos a resistencias de 3000 Psi (21 MPa) y 3500 Psi (24,5 MPa) respectivamente y contenido de aire con valores de 1.5 % para concretos tradicionales y 0 % para concretos traslucidos.

A partir de los datos anteriores, se infiere que los concretos traslucidos: son más livianos que los concretos tradicionales; presentan menos contenido de agua y aire, absorben menos agua del medio, por lo tanto incorporar menos cantidad de sales como cloruros y sulfatos, lo que los hace resistente al ataque químico, a la corrosión por carbonatación y cloruros; transmiten la luz no importando la fuente; La anilina y flúor como aditivos afectan la propiedad de translucidez; presentan mayores resistencia a la compresión, a la flexión y a la corrosión, los que los convierte en materiales con una durabilidad superior en relación a los concretos tradicionales; la resistencia a la flexión es proporcional a la resistencia por compresión, mientras que los concretos tradicionales siguen un comportamiento inverso.

Los concretos translucidos frutos de esta investigación pueden aplicarse en obras como: pavimentos, corredores, estancias colectivas de hoteles, cocinas de restaurantes, salones de actos entre otros, debido a que poseen resistencia a la abrasión de 12000 giros a 750 rpm; en la construcción de oficinas ya que permiten la iluminación suficiente para realizar las actividades propias de un lugar de trabajo sin invertir en energía eléctrica.

**PALABRAS CLAVES:** *Concreto translucido, vanguardia, industria de la construcción, resistencias, corrosión, durabilidad.*

## ABSTRACT

In this work we obtained two sets of concrete, traditional and translucent. The translucent concrete is material that forms part of a range of technological innovations, whose singularity set it to the forefront of Inorganic Synthesis, Construction Industry and the frontier of materials science. For the manufacture of such combined composite materials such as cement, aggregates and additives, modifying in this case the percentage of cement and aggregates, in some cases, fluorine was introduced in proportion as additives 0.5%, 1%, 1.5% and 2% relative to the total mass of translucent concrete, in other case aniline was introduced as an additive.

To meet the objectives of the project, it was necessary to apply various techniques and methodologies relating to the validation of the physical and mechanical properties of the components of the concrete and specific as such. By comparing the properties of traditional concrete and translucent concrete is evidenced that the numerical values obtained for the translucent concrete are always lower for any property. Of these properties is of special interest is the mass per cubic meter of concrete, the values of 2.331.90 and 2.3335.28 kg/m<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> for traditional concrete 1932 kg/m<sup>3</sup> 1825 kg/m<sup>3</sup> and 3000 resistances translucent (21) and 3500 (24.5) psi (MPa), respectively.

Other relevant properties are taken: the absorption values of 4.94% to 0.4% traditional concrete for concrete translucent, water content values of 17.5% and 15% for traditional concrete, 12% and 10% for a specific resistances translucent 3000 (21) and 3500 (24.5) psi (MPa) respectively and air content values of 1. 5% for traditional concrete and 0% for translucent concrete.

From these data we infer that the translucent concrete: they are lighter than traditional concretes; have less water content and air, absorb less water from the environment, therefore incorporate fewer salts such as chlorides and sulphates, which the made resistant to chemical attack, corrosion by carbonation and chloride; regardless transmit light source; Aniline and fluorine as additives affecting translucency property; exhibit higher compressive strength and flexural strength and corrosion resistance, which materials makes them superior durability in relation to traditional concretes, the flexural strength is proportional to the resistance by compression, while the traditional concrete follow an inverse behavior.

The translucent concrete fruits of this research can be applied in works such as pavements, platforms, group hotel stays, restaurant kitchens, halls among others, because they have abrasion resistance of 12000 spins at 750 rpm, in the construction office because they allow sufficient lighting to perform the activities of a workplace without investing in power.

KEY WORDS: Translucent Concrete, vanguard, construction industry, resistors, corrosion, durability.

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación, presentada en el marco de la disciplina de la Ingeniería Industrial, dedicada en gran medida al orden de los procesos de producción, a la eficiencia y eficacia de la producción de cualquier producto o servicio, y a la producción de nuevos procesos o materiales en búsqueda de la calidad continua para la prestación de un mejor servicio al cliente por parte de los productores o prestadores de servicios y facilitan la vida a la humanidad en general; se puede ver desde la óptica de la Ingeniería Civil, por los procesos que sirven para validar la creación de un nuevo material, El Concreto Traslucido, que tendrá como objetivo mejorar el medio ambiente, reducir costos en consumo de energía eléctrica durante el día, por ende, dar a las personas que lleguen a utilizar el Concreto Traslucido, una mejor calidad de vida tanto para ellos como para la comunidad a que pertenezcan ya que no serán emisores de contaminantes globales del medio ambiente.

El orden y sistematización de los procesos de producción de nuevos productos o servicios que impone la Ingeniería Industrial a la optimización de ellos, son aplicados con rigor en la presente investigación, haciendo la diferencia con los servicios que presta la Ingeniería Civil, ya que esta, hace caso omiso a esos aspectos tan relevantes a la hora de presentar la calidad de los elementos producidos o diseñados por la ingeniería civil, en donde la preocupación es su funcionalidad sin importar en algunos casos, la calidad y el costo económico y social del mismo; por ello, la unión de las dos disciplinas en la presente investigación, hace de este documento un aporte importante a la interdisciplinariedad de dos conocimientos diferentes pero complementarios entre sí.

El presente trabajo, nace de las necesidades que tiene el hombre para cumplir algunas normativas que le exigen el acatamiento de ellas, ya que se las han impuesto por medio de leyes del estado, o por el simple instinto de conservación de su vida y sus bienes. En Colombia, por ejemplo, desde antes de 1997, cuando se promulgo la ley 400 de 1997, ya había reglamentación de construcciones, pero no eran de estricto cumplimiento, la ley 400, ratifico su poder en la primera Norma Sismo Resistente NSR-98; luego de algunos eventos sísmicos que se dieron en el país, 1999, el sismo de Armenia y Pereira, despertaron la necesidad de tener una norma más exigente y que involucrara otros sistemas de construcción aplicados en el país, se tuvieran en cuenta, pero no estaba en la norma antisísmica existente hasta entonces, como era el caso de la construcción con guadua, y debía ser tenida en cuenta en esa norma tan importante que protege vidas humanas y patrimonios de los Colombianos.

En el 2008, se promulga por el estado Colombiano la ley 1229, la cual crea la nueva norma sismo resistente de 2010, y solo se aplica desde el 2010, por que las especificaciones y normativas para la construcción en madera de la guadua no estuvo lista hasta ese año, y desde entonces, rige la nueva NSR – 10; hay que tener en cuenta que esas leyes, sobre todo la ley 400 del 97, en su artículo 39, crea la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones sismo Resistente, del gobierno nacional, adscrita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Por otro lado, la necesidad que tiene la humanidad para parar o disminuir la producción de gases tipo invernadero, motiva a idear la producción de nuevos materiales o sistemas que disminuyan la emisión de esos gases contaminantes que atenten con el ambiente.

Las condiciones anteriores, justifican en parte la creación de este proyecto de investigación, sin embargo, para complementar el presente trabajo, se desarrollaron capítulos en los cuales se presentan los avances que llevaran al lector por la investigación hasta llegar a las conclusiones y recomendaciones que aportaran un nuevo conocimiento que a la larga será un aporte para que la humanidad tenga un mejor vivir y mejor bienestar.

En el presente capítulo, se justifica o se dan más razones para el desarrollo de la presente investigación, además, se presentan cuáles son los objetivos de la investigación, cual es la premisa o hipótesis de la investigación y el problema de investigación, a pesar que ya se ha adelantado algo en el prólogo de este capítulo.

En el capítulo II, Marco teórico, se desarrolla la temática teórica que orienta el proceso de investigación, y se tratan los temas de los mortero y sus usos, los diseños de mezclas de concretos, y el resultado de ese diseño como una resistencia esperada según las condiciones estadísticas de la producción de dichos concreto, basada en la experiencia de la fabricación de los concretos más usados en la industria de la construcción en Colombia, como son los de resistencia de 3000 y 3500 psi (21 y 24.5 MPa respectivamente); estos lineamientos, son dados por la American Construction Institute, ACI, y acogida en Colombia por la comunidad de ingenieros pertenecientes a la comisión permanente sísmica.

Igualmente en ese capítulo II, se presentan los diferentes tipos de cementos Portland y cementos industriales, y sus características y propiedades físicas que permiten que estos materiales se puedan usar como adherentes de otros materiales que en algunos casos son muy diversos a ellos, pero pueden prestar sus servicios gracias a la composición de que les permiten esas propiedades inherentes a estos materiales; los aditivos que se usan para mejorar las propiedades o para mejorar los resultados esperados en la composición formada entre los cementantes y los otros materiales que hay que unir entre sí.

El concreto traslucido, es presentado en este trabajo, como el material que puede ser capaz de resolver varias de las inquietudes del autor en lo que respecta a las elevadas resistencias y a la posibilidad de dejar pasar luz y permite tener ambientes seguros pero iluminados, y se siembra la expectativa que este material, el concreto traslucido, pueda aportar parte de la solución esperada por la depredación de la industria del cemento portland.

En el tercer Capítulo, Proceso de investigación, se explica la metodología a seguir en la investigación y poder obtener las propiedades físicas necesarias de los materiales útiles para hacer los diseños de mezclas, entre ellas se tienen: la densidad de los agregados finos y gruesos, la masa sumergida, la masa suelta de cada grano, y la granulometría entre otras.

Además, se explica cómo se obtiene los granos finos y gruesos de los componentes del concreto traslucido, y sus propiedades físicas para diseñar la mezcla que produzca un concreto traslucido.

Igualmente, se dan los parámetros que restringen los diseños de mezclas, como son el asentamiento, el uso de la mezcla, la cantidad de acero, el contenido de agua que debe tener la mezcla según el uso.

La fabricación de los especímenes que irán a los laboratorios y sus características dependiendo de la propiedad física que se quiere conocer, es expuesta en este capítulo, además, se citan todas las normas técnicas que rigen la toma de especímenes y los procedimientos que se deben seguir para caracterizar los materiales propios de los diseños de mezcla.

En el capítulo IV, se dan los resultados de los diseños de mezclas así como los resultados de los ensayos de los especímenes según la propiedad física que se pretende conocer y comparar entre tipos de concretos, tradicional y traslucido.

En el quinto capítulo, se discuten y se comparan los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de concreto y se muestra cuál de los tipos de concreto es mejor según sus propiedades físicas estudiadas en la presente investigación.

En el último capítulo, VI, se presentan las conclusiones y recomendaciones, en las conclusiones, se dan cuáles son los concretos que la humanidad debe seguir explotando para mantener el ambiente y en las recomendaciones se proponen ampliaciones de esta investigación y nuevas investigaciones que apunten al mantenimiento del ambiente en condiciones excelentes de posibilidades de vida.

Por último, se entrega la información que sirvió de base para documentar la investigación, en donde se reportan más de 100 documentos consultados en base de datos especializados y algunas otras provenientes de documentos físicos y que reposan en las bibliotecas de las universidades que apoyan el proceso de

investigación o en la biblioteca privada del investigador principal, además, en el cuerpo de la información de la investigación, se aportan link de páginas de la red que no tienen rigor científico, pero se hace este aporte para que el lector pueda hacer la comparación entre las investigaciones anteriores de concreto traslucidos y la presente investigación, en esta investigación, el rigor científico es total ya que el investigador se apoya de información científica comprobada y las anteriores investigaciones de los concretos traslucidos no lo hacen y ninguna de las anteriores presentan resultados de las características físicas y mecánicas de los concretos.

## **1.1. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CONCRETO.**

En el ámbito de la construcción los concretos juegan un papel muy importante, y por ende son ampliamente utilizados en carreteras, edificios, puentes y otras infraestructuras. En promedio, aproximadamente 1 tonelada de hormigón se producen cada año por cada ser humano en el mundo.<sup>[1]</sup> La producción de este material, ha recibido críticas por el impacto ambiental que produce en los lugares en donde se han usado y han cambiado el entorno, por ello, es necesario evaluar el impacto ambiental que produce este material al medio.

En estos días, el impacto ambiental es elemento de estudio, y a menudo se equipara los efectos sobre él con los producidos por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el cambio climático. Como la producción de concretos produce sus respectivos impactos al medio ambiente, ha aparecido el concepto entre ellos de concretos "verdes", el cual se han venido desarrollado a lo largo de los años. Muy a menudo estos conceptos se centran en la sustitución parcial de cemento, la sustitución de los constituyentes del concreto responsable de emisiones de CO<sub>2</sub>, por otros materiales.<sup>[2]</sup> A nivel mundial, la industria del cemento solo se estima que es responsable de 5-7 % de todas las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> generado.<sup>[3-5]</sup> A pesar que la industria de la construcción emite otros gases de efecto invernadero, se hace responsable sólo del 3% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero generada por la actividad humana.<sup>[6]</sup> Sin embargo, la aplicación del concepto de concretos "verdes" implica que ciertos parámetros en el diseño de mezcla deben ser cambiados para obtener un hormigón suficientemente viable, fuerte y duradero.

### **1.1.1 EL CEMENTO.**

Los impactos ambientales de la producción de cemento pueden ser globales, regional o a escala local.<sup>[7]</sup>

### 1.1.1.1 ESCALA GLOBAL.

En las últimas décadas, se ha hecho énfasis en la participación del hombre en hacer mejores esfuerzos conducentes, hacia un enfoque global de mitigar el cambio climático. La Tabla 1 presenta un resumen de los valores encontrados en la literatura <sup>[4, 6,8-16]</sup> para las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del cemento. Por lo general son la suma del CO<sub>2</sub> emitido durante el proceso de calcinación (materia prima CO<sub>2</sub>: MP-CO<sub>2</sub><sup>[16]</sup>) y el CO<sub>2</sub> asociadas con el uso de energía. Con respecto a este último, se puede distinguir entre la energía indirecta y directamente asociada al CO<sub>2</sub> (EIA y EDA-CO<sub>2</sub>). Las emisiones EIA comprenden las emisiones de CO<sub>2</sub> asociado con la generación de energía eléctrica para operar las fábricas de cemento portland, mientras que las emisiones energéticas directas están asociadas con la quema de combustible en los hornos de cemento. La eficiencia del horno de cemento juega un papel importante.

Se ha encontrado la información que una eficiencia energética de sinterización de aproximadamente 3 GJ/tonelada está por encima del límite termodinámico real.<sup>[16]</sup> Bajo óptima condiciones de consumo de calor se puede reducir a menos de 2, 9 GJ/tonelada de Clinker. Un horno de cemento rotativo moderno típico, posee un consumo específico de calor de 3,1 GJ/ton de Clinker y emite aproximadamente 0.31 kg EDA-CO<sub>2</sub>, según la literatura consultada, mientras que esta cantidad equivale a aproximadamente 0,60 kg/kg de Clinker para un horno rotatorio a largo ineficiente quema de materias primas húmedas con un consumo de calor adicional de unos 0,6 GJ/tonelada de Clinker.<sup>[6]</sup> Las posibilidades de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>-MP son limitadas.

Se puede sustituir parcialmente las materias primas tradicionales por escoria de alto horno escoria (EAH) o por cenizas volantes (CV) las cuales presentan un contenido en calcio superior. En la práctica comúnmente se reemplaza aproximadamente el 10%. Si se reemplaza en un 10 % la piedra caliza, la reducción total de CO<sub>2</sub> pueden ceder en teoría hasta un 25 %.<sup>[6]</sup> Para reducir aún más las emisiones de CO<sub>2</sub>, se toma como alternativa para modificar químicamente al Clinker.

Al parecer, los cementos Belíticos de baja energía parecen ser una valiosa alternativa en el camino de la disminución de gases de invernadero. Si reemplazamos en un cien por ciento toda la alita del cemento por belita, las emisiones de MP-CO<sub>2</sub> se pueden reducir al alrededor de 8%, debido a que la temperatura de combustión es más baja, las emisiones de EDA-CO<sub>2</sub> también pueden disminuirse alrededor de 8%. Sin embargo, debido a su lento fraguado y lento endurecimiento, la implementación de este cemento es dudosa. Un material más prometedor es el cemento sulfoaluminato. Esta sustancia es bastante cara, a pesar que este tipo de cemento tiene menos MP-CO<sub>2</sub> contenido que el cemento Portland debido a que presenta un menor contenido de CaO (30% menos que los

Clinker modernos OPC). Por otra parte, las materias primas pueden ser quemadas a temperaturas más bajas.<sup>[17]</sup>

### 1.1.1.2 ESCALA REGIONAL

Los impactos ambientales regionales incluyen SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que contribuyen a la lluvia ácida. La tabla 1 incluye una visión general de la SO<sub>2</sub> estimado y las emisiones de NO<sub>x</sub> provenientes del cemento Portland según la literatura.<sup>[9, 11, 14, 15, 19,20]</sup> La mayoría del SO<sub>2</sub> emitido se deriva de la combustión de combustible y el procesamiento de las materias primas en los hornos. Alrededor de 70-95 % de la fracción no atribuible a la producción de energía es absorbida debido a la alta alcalinidad de Clinker.<sup>[21]</sup> Por lo tanto, la mayoría de la SO<sub>2</sub> sale del horno con el Clinker.<sup>[22]</sup> Los valores de NO<sub>x</sub> se refieren tanto a NO<sub>2</sub> y NO emitido al aire. Se trata principalmente de un alta salida de combustible para la producción de Clinker y el consumo de energía a lo largo de toda la cadena del proceso.

Según informe del Departamento Nacional de Planeación (DPN), Cemento y sus aplicaciones, el cual es un documento de trabajo, estudio realizado por Fedesarrollo para la constructora Colpatria en el 2006, se manifiesta en ese documento que las regiones del país más afectadas por la producción de cemento portland son las zonas de Bogotá, el Departamento de Antioquia, el Departamento del Valle del Cauca y la Costa Atlántica.

### 1.1.1.3 ESCALA LOCAL

Las emisiones de polvo de horno de cemento (PHC), por sus siglas en inglés, son los principales contribuyentes al impacto local. El tamaño de la PHC (0,05 - 5 µm) que es el intervalo de tamaño de partículas respirables por un ser humano.<sup>[22]</sup> Dado que el diámetro es más pequeño que 10 µm, los PHC se clasifica como PM<sub>10</sub>. Según la EPA,<sup>[23,24]</sup> estas finas partículas de quemado y parcialmente materias primas quemadas presentes en los gases de combustión del cemento, se consideran como un potencial de residuos peligrosos debido a su naturaleza cáustica e irritable.

Como se menciona en la Tabla 1, la cantidad de PHC generada por kg de Clinker producida equivale a alrededor de 15-20% (en masa).<sup>[19]</sup> Hoy en día, los daños al medio ambiente y los riesgos para la salud asociados a la PHC se pueden reducir de manera significativa por medios de carbonatación mineral. Como se observa en la carbonatación de otros desechos industriales, la retención de carbono puede dar adicionalmente beneficios en la estabilización de los residuos (reducción del pH) que reduce riesgos para la salud y la generación de lixiviados nocivos.<sup>[7]</sup> Además, la utilización de PHC para la retención de carbono por medio de mineral de

carbonatación parece tener sus ventajas en la escala global, al alrededor de 7% de las emisiones de carbono puede ser capturado de esta manera <sup>[7]</sup>.

I. Tabla 1. Resumen de CO<sub>2</sub> (incluido su distribución en el MP-CO<sub>2</sub>, EIA-CO<sub>2</sub> y EDA-CO<sub>2</sub>), SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y las emisiones de PHC para el cemento Portland expresan en g/kg de cemento\* o g/kg Clinker.\*\* [4,6,8-16,19,20]

Ref.	MP-CO <sub>2</sub>	EIA-CO <sub>2</sub>	EDA-CO <sub>2</sub>	TOTAL
[4]	-	-	-	870 g/kg *
[6]	530g/kg **	310 – 600 g/kg **	-	840 – 1150 g/kg **
[8]	50 %	50 %	-	810 g/kg *
[9]	59 %	6 %	35%	800 g/kg *
[10]	57 %	6 %	37 %	-
[11]	50%	0 – 10 %	40 – 50 %	-
[12]	-	80 g/kg *	-	-
[13]	-	-	-	820 g/kg *
[14]	-	-	-	690 g/kg *
[15]	-	-	-	810 g/kg *
[16]	425 g/kg *	80 g/kg *	390 g/kg valor promedio	815 + 80 g/kg * 842 g/kg *
	SO <sub>2</sub>			
[9]	0.40 -0.60 g/kg *			
[14]	0.82 g/kg *			
[15]	0.58 g/kg *			
[19]	0.27 g/kg **			
[20]	0.54 g/kg **			
Valor promedio	0.53 g/kg *			
	NO <sub>x</sub>			

[9]	2.40 g/kg*			
[14]	10.00 g/kg**			
[15]	1.20 g/kg*			
[19]	1.50 g/kg*			
Valor promedio	3.65g/kg*			
	PHC/MP			
[14]	0.49 g/kg*			
[15]	0.04 g/kg*			
[19]	150 – 200 g/kg **			
Valor promedio	83.3 g/kg *			

## 1.2. MATERIALES CEMENTANTES

El reemplazo parcial de Clinker de cemento Portland con cenizas volantes clasificadas, FA, o, escoria de alto horno, BFS, por sus siglas en inglés, es considerada como beneficiosa y se han convertido en una práctica común en la fabricación de cementos portland. De un punto de vista ambiental, por lo que es obvio que una alta adición de subproductos cementantes mezclados con cementos sea deseable.

Desde el proceso de producción implica menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con un cemento Portland ordinario (OPC) que consta de 95 - 100% de Clinker. El FA o BFS, también se pueden añadir por separado a la mezcla de hormigón. El último enfoque se acepta más comúnmente en los Estados Unidos.<sup>[6]</sup> Según Feuerborn, la aplicación de la FA (utilización total: 20,0 millones de toneladas) como suma en hormigón, reemplazando el cemento como materia prima, constituyo en Europa en 2007, entre el 29,5%, y 14,5%, de cementos mezclados.

Debido a la reciente reconversión existente del carbón se disparó en las centrales con desulfuración de gases de combustión, la construcción de nuevas centrales eléctricas de carbón en algunos países y el aumento del uso del carbón importado con mayor contenido de cenizas, la producción y el uso FA se espera que

aumenten en los próximos años.<sup>[25]</sup> Sin embargo, el mayor número de hornos de cemento están operando por encima de su capacidad efectiva, el uso de cemento mezclado sólo podría permitir un aumento en la producción de concreto sin cualquier incremento en la producción de Clinker o cemento.<sup>[26]</sup> Debido a la creciente demanda de cemento, las emisiones globales de CO<sub>2</sub> atribuibles a la industria del cemento se espera que aumente dramáticamente en las próximas décadas.<sup>[4]</sup>

### 1.3. EL AGUA

En la producción de concretos con cemento portland, se aconseja una baja relación agua-cemento (W/C), especialmente en aplicaciones exigentes. Para asegurarse de que el agua no contiene sustancias orgánicas, cloruros o álcalis, se aplica agua potable por lo general en la práctica.

Aparte de la agricultura, la demanda de agua dulce en la industria está causando agotamiento de los recursos hídricos subterráneos y de las aguas superficiales y la manera como se extrae ponen en peligro la salud de los ecosistemas de agua dulce.<sup>[27]</sup> Este impacto puede evaluarse mediante el cálculo de la huella hídrica de un producto. Esta es normalmente la suma de toda el agua que se consume en las diversas etapas de la producción y por lo tanto como se consume virtualmente estos contenido de agua.<sup>[28]</sup>

Lafarge en México utiliza aproximadamente 343 L de agua para la fabricación de 1 tonelada de cemento. Además, alrededor de 284 litros de agua se necesitan en promedio para producir 1 m<sup>3</sup> de hormigón.<sup>[29]</sup> Evidentemente, que si en la fabricación de hormigón se reduce el uso de aguas azules<sup>[30]</sup> es decir agua subterránea y aguas superficiales, esto sería beneficioso. En la fabricación del hormigón se tiende a utilizar bajo contenido de agua en la mezcla. Lo anterior motiva el incremento en el uso de plastificantes y resinas para lograr bajar el contenido de agua manteniendo las propiedades de los concretos.

### 1.4 ADITIVOS.

La validación de aditivos como los súper plastificantes, clasificados como: sulfonados naftaleno formaldehído, sulfonados formaldehido melamina, copolímeros vinilo y éteres poli carboxílicos, fue reglamentada por la Federación Europea de Asociaciones de aditivo para el hormigón (EFCA).<sup>[31]</sup> estos súper plastificantes son solubles en agua y presentan una composición del 30 al 45% de materia activa. Es relevante tener en cuenta que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido en la fabricación de 1 kg de súper plastificante es de 720 g/kg.

La cantidad de CO<sub>2</sub> producido en la fabricación de cemento portland es de 842 g/kg; por lo tanto, el uso de súper plastificante para remplazar parcial agua en el concreto no produce un impacto positivo debido a que en su fabricación se emite un valor ligeramente menor de CO<sub>2</sub> en relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la producción de cemento. Este comportamiento se cumple para las emisiones de NO<sub>x</sub> equivalente a 1,8 g/kg frente a 3,65 g/kg. Otro aspecto del uso de súper plastificante, es la emisión de SO<sub>x</sub> la cual equivale a 3,6 g/kg, valor que es significativamente más alto que el producido en la fabricación del concretos (0,53 g / kg). Como la cantidad de súper plastificante utilizado en fabricación del hormigón es insignificante en comparación con el cemento, estas emisiones no tienen una acción relevante en el equilibrio ambiental.

## **1.5. AGREGADOS FINO Y AGREGADO GRUESO**

Los agregados finos y gruesos, en la mayoría de los casos se originan de material geológico, que puede transformarse naturalmente recibiendo el nombre de canto rodado o puede sr transformado por acción del hombre y se conoce con el nombre de agregado triturado. Con el propósito de no modificar el paisaje natural, se ha propuesto el reúso de estos materiales provenientes de las sobras de las construcciones y las demoliciones.<sup>[32]</sup>

A pesar que la aplicación de agregados reciclados en la producción concretos ha tenido acogida, aun no se le tiene la suficiente confianza.<sup>[33]</sup> Actualmente no se tienen reportes concisos de los efectos medioambientales causados por el uso de agregados finos y gruesos.

El indicador para evaluar el impacto debido al consumo de recursos naturales en relación al Ciclo de Vida de concreto, depende de la escala con que este se mida.<sup>[34]</sup> Lo anterior se debe a que el concreto y sus componentes no viajan largas distancias, una vez extraído de la cantera por lo tanto, a escala regional el impacto es más relevante considerando todos los aspectos involucrados en la extracción de los de los recursos naturales.

La disminución de los recursos en una zona de explotación, depende del volumen del material extraído, por esto, el efecto causado por la disminución de agregados empleados en la fabricación de concretos a escala mundial, no es significativa,<sup>[35]</sup> lo anterior se extrapola de la siguiente manera, para Colombia la rápida explotación de gravilla en Turbaco Bolívar , le representa un agotamiento bajo del recurso, pero al municipio en mención le representa un agotamiento alto.

## 1.6. DIFERENCIAS Y SIMILITUDES DE LOS CONCRETOS.

Desde el pasado, se tiene la creencia entre los practicantes de la industria de la construcción, que los concretos hechos con algunos materiales provenientes de las canteras del departamento del Atlántico, no se pueden alcanzar resistencias altas, por ello, en el 90% de las edificaciones se construyen con concretos de 3000 psi = 210 Kg/cm<sup>2</sup> = 21 MPa, sin embargo el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (anexo 1), presenta como requisito de Durabilidad del concreto con que se construyen las obras civiles y arquitectónicas, deben ser de resistencias a la compresión mayor a 4000 psi = 28 kg/cm<sup>2</sup> para exigencias de uso, S1, S2, S3, P1, y C2; donde S es la resistencia a sulfatos, P es la permeabilidad y C es la resistencia a la corrosión (tabla C4.2.1 de la NSR 10), los sub índices, indican mayor o menor grados de exposición.

En este documento, no se tuvo en cuenta los fenómenos de congelamiento o deshielo (F); esto conlleva a la siguiente condición; para aumentar la resistencia de los concretos a los diferentes tipos de ataques a que se ve sometido durante su vida útil, se utilizan aditivos los cuales traen como resultado aumento en los costos.

Por otro lado, los materiales utilizados como aditivos en los concretos que le permiten alcanzar mayores resistencias, son los compuestos llamados polímeros reforzados con fibra FRP, los cuales se pueden aplicar como una capa delgada o capa por capa en muchos usos como rehabilitación de los componentes estructurales del hormigón armado,<sup>[36-55]</sup> vigas, columnas, losas y muros para aumentar la capacidad de carga axial, capacidad de carga de flexión o cortante,<sup>[37,40,41,42-46]</sup> la ductilidad para mejorar el rendimiento sísmico,<sup>[39,47]</sup> durabilidad frente a los efectos ambientales adversos,<sup>[48]</sup> resistencia a la fatiga,<sup>[38,49,50]</sup> la rigidez de las desviaciones reducidas bajo las cargas de servicio y de diseño.<sup>[51,52]</sup>

Sin embargo las estructuras obtenidas con estos materiales pueden presentar burbujas de aire que se transforman en grietas y estas se propagan a lo largo de la estructura compuesta,<sup>[42]</sup> para solucionar este impase, estas estructuras deben ser fabricadas mediante técnicas que eliminen casi todos los huecos de aire dentro del material como lo es moldeo por presión,<sup>[53,54]</sup> pero los costos se incrementan considerablemente y solo se pueden aplicar presiones leves.<sup>[53,55]</sup>

Al comprar los materiales anteriormente descrito con el concreto translucido, es de notar que el concreto translucido ofrecen resistencias mayores, en relación a los concretos comerciales para las mismas proporciones de mezcla, por lo anterior se pretende fabricar con materiales del Departamento del Atlántico un concreto translucido que arroje mejores resistencia que los concretos tradicionales y

podamos construir obras arquitectónicas y civiles más durables y amigables al ser humano.

En los países en donde se ha investigado sobre este tipo de concreto, entre ellos Hungría, Estados Unidos de Norte América, México, Brasil, Argentina y Perú, se ha llegado a aportar hasta quince patentes como es el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana UAM de México. En Hungría la firma Litracom vende a todo el mundo adornos para la mesa, contruidos en este material, por valor de US 300 por unidad.

### 1.7. ALCANCES Y PERSPECTIVAS DE ESTE TRABAJO.

Se pretende resolver el problema que existe con la resistencia a la comprensión de los concretos que se preparan con algunos materiales de origen nacional. Lo que ocasiona que las obras que se construyen con ellos, algunos no presentan la durabilidad que se procuran al ejecutar los proyectos de construcción, tal como lo exige Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, trayendo con esto mayores gastos en mantenimientos y conservación del bien construido. Además, la utilización de agregados del concreto para reparar las obras, trae con ello mayor explotación de canteras y por consiguiente más ataques al medio; sin dejar de mencionar la seguridad de las obras, usuarios y los recursos invertidos, mayores gastos en energía para la fabricación de cemento, explotación y reconstrucción del elemento afectado y qué decir del deterioro y mala imagen del elemento en cuestión.

### 1.8 HIPÓTESIS

Se llegó a pensar en fabricar un concreto diferente al convencional, que posea propiedades incomparables y que aporte otros atributos a los aportados por el concreto tradicional, entonces, el concreto translucido podría ser una buena alternativa de solución o propuesta y ser fabricado con materiales del departamento del Atlántico y/o sintetizando sus componentes, este concreto translucido, debe poseer propiedad de translucidez, con mejores propiedades físicas en relación a un concreto convencional; y que se pueda construir obras arquitectónicas y civiles más durables y amigables con el medio ambiente.

## 1.9 OBJETIVO GENERAL

Para darse a la tarea de desarrollar un nuevo concreto que contenga la propiedad de translucidez, alta resistencia a la compresión y mejores propiedades mecánicas en relación a los concretos convencionales, empleando materiales de fácil consecución en el Departamento del Atlántico y/o en el País.

Se deben ejecutar varias labores que permitan el cumplimiento de normativas conocidas y aplicables a la producción de concretos, entre ellas se conocen varias normativas o métodos como: método de Fuller, método gráfico, método ACI por tablas y método ACI por formulas, este último método es el que se aplicó en la presente investigación, sobre todo por su conocimiento universal del método; para realizar la tarea hay que adelantar varias de ellas que se citan a continuación:

### 1.9.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar pruebas de laboratorio para encontrar las características físicas de los materiales que permitan el diseño de mezcla.
2. Determinar las relaciones de los materiales en las mezclas para obtener concretos translucidos que cumplan con resistencias específicas.
3. Elaborar concretos translucidos a partir de los datos arrojados por el diseño de mezcla.
4. Aplicar ensayos de: translucidez, resistencias a la compresión, desgaste por abrasión, flexión, tiempo de fraguado y tiempo de curado.
5. Verificar si la adición de otros materiales permiten aumentar translucidez e incide en la resistencia del concreto translucido.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1 CONCRETO TRADICIONAL.

El concreto u hormigón es el resultado de la mezcla de uno o más conglomerantes, que pueden ser de tipo calcáreo, bituminoso, etc., áridos fino o grueso (grava, gravilla y arena), agua, aire, posibles aditivos (colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, etc.) y adiciones. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que derivan en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreas.<sup>[57]</sup>

##### 2.1.1 MORTERO

Cuando se habla de mortero, se está haciendo referencia a un tipo de concreto fabricado específicamente con árido fino (arena) de tamaño máximo igual o inferior a 5mm o que pasa por una abertura nominal de 5 mm y es retenido en el 0.080 mm, con tolerancias establecidas en la NTC174 (anexo2), junto a los demás componentes mencionados anteriormente. Dependiendo del tipo de conglomerante que se utilice los morteros se clasifican en:

- Mortero de cemento: se compone de una mezcla en la que el conglomerante es cemento. Su principal ventaja respecto a otros tipos de argamasa es su gran resistencia y la rapidez con la que se seca y endurece. Sin embargo, como es poco flexible, es fácil que se resquebraje.
- Mortero de cal: el conglomerante en el que se amasa este producto es cal, tiene la gran ventaja de que es fácil de aplicar, y es flexible y untuoso. No obstante, es menos resistente e impermeable que el mortero de cemento.
- Mortero mixto: donde el conglomerante está compuesto por cemento y cal, que reúne las cualidades de los dos anteriores. Si en la masa se pone más cemento que cal será más resistente y si la cantidad de cal es mayor será más flexible.

##### 2.1.1.1. USOS DEL MORTERO.

Los usos del mortero que abajo se describen se tomaron de la tesis titulada "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS NANOMOLÉCULAS DE SÍLICE

EN EL CONCRETO FRENTE A UN FACTOR QUE AFECTA SU DURABILIDAD” la cual se presentó como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles<sup>[57]</sup>

- Como mortero de junta, para la adherencia de unidades de albañilería.
- Como mortero de estuco, para recubrimiento de superficies de albañilería u hormigón.
- Como mortero de pega para unir piezas de revestimiento prefabricadas (baldosas, pastelones, elementos cerámicos, etc.).
- Como mortero de relleno en unidades de albañilería armada o placas de fundación de estructuras metálicas o equipos.
- Como mortero proyectado para el recubrimiento y sustentación de superficies de suelo, roca, hormigón u otros materiales.
- Como mortero de inyección de fisuras y grietas en elementos de hormigón, roca u otros.
- Como material de reparación, especialmente en obras de hormigón.
- Como recubrimiento interior de tubos metálicos.
- Como morteros de tratamiento de juntas de hormigonado.

### 2.1.2. DISEÑOS DE MEZCLAS

El comité A.C.I. 211 ha establecido una metodología para encontrar las proporciones de cada ingrediente por metro cubico de concreto, siguiendo la siguiente secuencia:

**Paso 1.** Seleccionar el asentamiento y la resistencia del concreto requeridos: (Importancia dada a las propiedades del concreto en estado fresco, para su manejo, colocación y compactación)

**Paso 2.** Seleccionar el tamaño máximo del agregado grueso, basados en los requerimientos de resistencia: (Se da importancia a las características del tamaño, para la realización de procesos de producción, transporte y colocación de concreto)

**Paso 3.** Estimación del contenido de aire: (Tiene que ver con las exposiciones de aire que debe tener el concreto para su operación)

**Paso 4.** Estimar del contenido de agua de mezcla: (Tiene que ver con las exposiciones de agua que debe tener el concreto para su operación y sus funciones principales)

**Paso 5.** Determinación de la resistencia del diseño: (Determinar las condiciones de resistencia del concreto a la comprensión promedio y su uso bajo normas de Sismo Resistencia)

**Paso 6.** Selección de la relación agua- cemento: (Se da importancia a la correspondencia entre la resistencia y la relación agua-cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades).

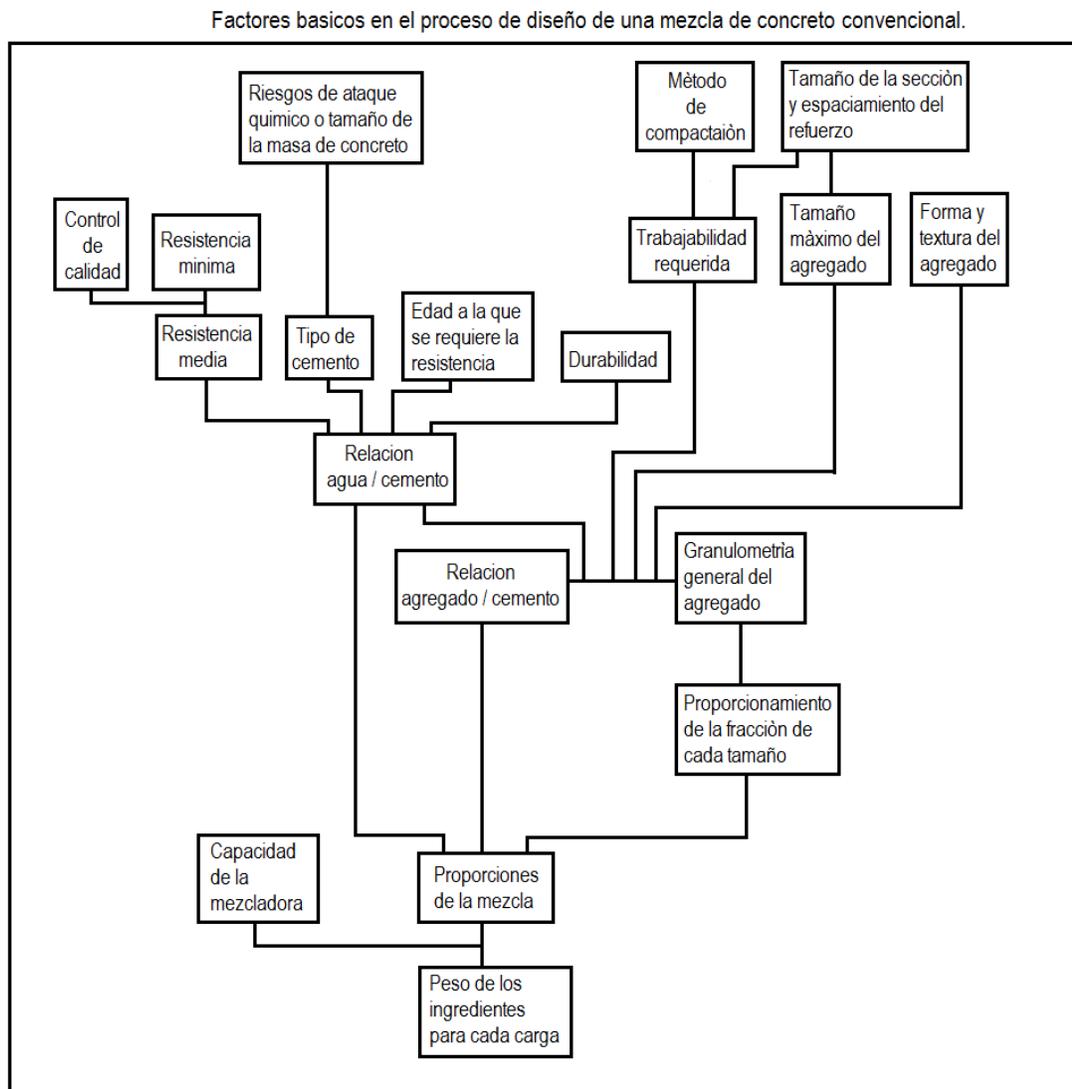
**Paso 7.** Calculo del contenido de cemento (Permite calcular la cantidad de cemento por metro cubico de concreto, para un uso eficiente de las cantidades y resistencias)

**Paso 8.** Estimación de las proporciones de agregados (Permite estimar las proporciones de los agregados mediante combinaciones granulométricas, para su uso, dosificaciones y cantidades)

**Paso 9.** Ajustes por humedad de los agregados: (Tiene que ver con los ajustes que se realizan al diseño de la mezcla para que se adhieran correctamente sus componentes)

**Paso 10.** Ajustes a la mezcla de concreto (Realizada la mezcla, se deben corregir los pequeños detalles que permitan una adherencia óptima de todos sus componentes).<sup>[58]</sup>

Figura 1. Proceso básico de diseño de mezclas de Concretos [58]



2.1.2.1. “C.5.3 – DOSIFICACION BASADA EN EXPERIENCIA DE OBRAS ANTERIORES O MEZCLAS DE PRUEBA, O AMBAS.” [59, 60]

Las normas de la ACI 318 y la norma sismo resistente colombiana 2010, hacen las siguientes recomendaciones y exigencias respecto a la producción y concretos para que cumplan con las exigencias de calidad para la durabilidad de los elementos civiles o arquitectónicos construidos en concreto, por ello, consignamos casi que al pie de la letra apartes del título C de la NSR 10 referentes a los temas de calidad de los concretos, para mantener el espíritu de la norma.

### “C.5.3.1 – Desviación Estándar”

“C.5.3.1.1 – Cuando una planta de concreto tiene registros de ensayos de menos de 12 meses de antigüedad, debe establecer una desviación estándar  $S_s$ , de la muestra. Los registros de ensayos a partir de los cuales se calcula  $S_s$  deben cumplir las siguientes condiciones:

(a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a las esperadas, y las variaciones permitidas en los materiales y de las proporciones dentro de la muestra no deben haber sido más restrictivas que las de la obra propuesta.

(b) Representar un concreto producido para que cumpla con una resistencia o resistencias a la compresión especificadas, dentro de 7MPa de  $f'_c$ .

(c) Consistir al menos 30 ensayos consecutivos, o de dos grupos de ensayos consecutivos totalizados al menos 30 ensayos como los define C.5.6.2.4, excepto por lo especificado en C.5.3.1.2”

**Tabla 2. Números de ensayos en relación al factor de modificación para la desviación estándar de la muestra (tomada de la NSR 10 C. 5.3.3.1.)**

Número de ensayos*	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra <sup>†</sup>
Menos de 15	Emplee la tabla C.5.3.2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

\* Interpolarse para un número de ensayos intermedios

†Desviación estándar de la muestra modificada  $S_s$ , para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida  $f'_{cr}$  de C. 5.3.3.1.

**Tabla 3. Resistencia específica a la compresión, MPa en relación a la resistencia promedio requerida a la compresión, MPa, tomada de la NSR 10 (C.5.3.2.1)**

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

**“C.5.3.1.2** – Cuando la instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos que se ajusten a los requisitos de C.5.3.1.1 (C), pero tengan un registros de ensayos de menos 12 meses de antigüedad, basados en 15 a 29 ensayos consecutivos, se debe establecer la desviación estándar de la muestra  $S_s$  como el producto de la desviación estándar de la muestra calculada y el factor de modificación de la tabla C.5.3.1.1. y deben representar un solo registro de ensayos de ensayos deben ajustarse a los requisitos (a) y (b) de C.5.3.1.1 y deben representar un solo registro de ensayos consecutivos que abarque un periodo no menor de 45 días calendario consecutivos.”

**“C.5.3.2 – RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA**

**C.5.3.2.1** - La resistencia promedio requerida  $f'_{CR}$ , en MPa, que se utiliza para dosificar el concreto, debe ser la mayor de las obtenidas en las ecuaciones C.5-1 y C.5-2, utilizando la desviación estándar,  $S$ , obtenida según C.5.3.1.1 o C.5.3.1.2:

$$f'_{CR} = f'_C + 1.34S \tag{C.5-1}$$

$$f'_{CR} = f'_C + 2.33S - 3.5 \text{ (MPa)} \tag{C.5-2*}$$

**C.5.3.2.1** – Cuando la instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos para calcular la desviación estándar como lo pide C.5.3.1 o C.5.3.1.1, la resistencia promedio requerida,  $f'_{CR}$  en MPa, debe determinarse de la tabla C.5-2 y la documentación de la resistencia debe cumplir los requisitos de C.5.3.3.”

**Tabla 4. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar**<sup>78</sup>

Resistencia nominal a la compresión $f'_c$ MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión $f'_{cr}$ MPa
Menos de 21 MPa	$f'_c + 7$ MPa
de 21 MPa a 35 MPa	$f'_c + 8.5$ MPa
más de 35 MPa	$f'_c + 10$ MPa

**“C.5.3.3 DOCUMENTACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO**

La documentación que justifique que la dosificación propuesta para el concreto produzca una resistencia promedio a la compresión igual o mayor que la resistencia promedio a la compresión requerida  $f'_{cr}$ . (Véase C.5.3.2), debe consistir en un registro de ensayos de resistencia en obra, en varios ensayos de resistencia, o en mezclas de prueba.

**C.5.3.3.1** – Cuando de acuerdo con C.5.3.1.1 o C.5.3.1.2 se empleen registros de ensayos para demostrar que las dosificaciones propuestas para el concreto

producirán  $f'_{cr}$ . (Véase C.5.3.2), dichos registros deben representar materiales y condiciones similares a las esperadas. Los cambios en los materiales, condiciones y dosificaciones dentro de los registros de ensayos no deben ser más restrictivos que los de la obra propuesta. Con el propósito de documentar la resistencia promedio potencial, pueden aceptarse registros de ensayos que consistan en menos de 30 pero no menos de 10 ensayos consecutivos, siempre que abarquen un periodo no menor de 45 días. La dosificación requerida para el concreto puede establecerse por interpolación entre las resistencias y las dosificaciones de dos o más registros de ensayos, siempre y cuando cumpla con los otros requisitos de esta sección.”

“**C.5.3.3.2** – Cuando no se dispone de un registro aceptable de resultados en obra, se permite que la dosificación del concreto se establezca con mezclas de prueba que cumplan los siguientes requisitos:

(a) Los materiales deben ser los propuestos para la obra.

(b) Las mezclas de prueba deben tener un rango de dosificación que produzca una gama de resistencia a compresión que abarque  $f'_{cr}$  y que cumpla con los requisitos de durabilidad del Capítulo C.4.

(c) Las mezclas de prueba deben tener un asentamiento dentro del rango especificado para la obra propuesta; y para concreto con aire incorporado, el contenido de aire debe estar dentro de la tolerancia especificada para la obra propuesta.

(d) Para cada mezcla de prueba deben fabricarse y curarse al menos doce probetas cilíndricas de 150 por 300 mm o tres probetas de 100 por 200 mm de acuerdo con la NTC 1377(ASTM C192M) (anexo3). Las probetas deben ensayarse a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para  $F_c$ .

(e) Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras de prueba, a la edad de ensayo establecida, deben ser usadas para establecer la composición de la mezcla de concreto propuesta para la obra. La mezcla de concreto propuesta debe alcanzar una resistencia promedio a la compresión como lo exige C.5.3.2 y cumplir con los criterios de durabilidad aplicables del capítulo C.4.”

Seguidamente de este mismo capítulo, pero en la Norma NSR – 98, presenta varios apartes relativos al tema del concreto en los cuales hace referencia a la estadística.

### 2.1.2.2. CALCULOS ESTADISTICOS

Se han comprobado que los resultados de resistencia a compresión de una mezcla definida se ajustan a una pauta de la curva de frecuencia de distribución normal. Entre mayor sea el número de ensayos graficados, más se parecerá la curva trazada a una curva de distribución normal de frecuencias o también llamada campana de gauss. Al comprobarse lo anterior se pudieron aplicar los conceptos estadísticos a la distribución normal y con base en ellos, se han fijado las normas para la producción y aceptación de las mezclas de concreto empleadas actualmente.

La expresión matemática de la estadística aplicable al concreto se describe así:

$$f_{cr} = \frac{f'c}{1-tv_{100}}$$

Dónde:

$f_{cr}$  = Resistencia media requerida a la compresión en MPa.

$f'c$  = Resistencia especificada

$t$  = Coeficiente que depende del % de resultados que se aceptan por debajo de  $f'c$ .

$v$  = Coeficiente de variación que indica el grado de control de calidad del concreto en una obra cualquiera.

$$v = \frac{s}{f_{cr}} \times 100$$

$$f_{cr} = \frac{\sum f_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_{cr})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

$f_i$  = Resistencia a la compresión de un ensayo cualquiera

$n$  = número total de ensayos

$s$  = Desviación estándar en MPa

La forma de la curva normal de distribución de frecuencias depende de la variabilidad de los resultados de la prueba. Cuando dicha variabilidad se incrementa, la curva se alarga y se abate; cuando la variabilidad es poca, los valores de resistencia se sitúan cerca del promedio y la curva es alta y se angosta.<sup>[59]</sup>

## **2.2 CEMENTOS**

Hay muchas definiciones del cemento portland, pero la mayoría coinciden en que es un material pulverizado, al cual se le debe adicionar de una cantidad suficiente de agua para que el conjunto de la mezcla forme una pasta que sea capaz de conglomerar otros materiales áridos y al final resulte en forma endurecida un nuevo material que sea usado tanto en el aire como bajo agua. Se ha denominado cemento a numerosos materiales cuya característica principal era su calidad de aglomerante. Para evitar confusiones, la comunidad científica e industrial, ha establecido que se le puede llaman Cementos a aquellos materiales que se sean capaz de endurecer tanto en el aire como bajo el agua, y en el proceso de endurecimiento, pueden contener o atrapar otros materiales aglutinándolos a su alrededor y una vez endurecidos, son resistentes a la acción del agua se componen principalmente por combinaciones de óxido de calcio (CaO) con sílice (SiO<sub>2</sub>), alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), y que además cumplen con normas establecidas para tales materiales, a lo relativo a resistencias y estabilidad de volumen.

### **2.2.2 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND**

#### **Cemento portland**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de Clinker y yeso, y que puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el CaSO<sub>4</sub>\*H<sub>2</sub>O.

#### **Cemento portland puzolánico**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de Clinker, yeso y

Puzolana. Con este último hasta un máximo de 30% en peso.

#### **Cemento puzolánico**

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana. Con este último hasta un máximo de 50% en peso. Este cemento puede aceptar hasta un 3% de materiales extraños, excluido el  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

En cuanto a la resistencia de los sulfatos, ésta será inversa el contenido de C3A. Por éste motivo la norma A.S.T.M. clasifica los cementos portland en cinco tipos:

- **Tipo I:** cemento portland común, apto para toda obra que no requiere cementos con requisitos especiales.
- **Tipo II:** cemento portland de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos con un contenido máximo de 8% de C3A.
- **Tipo III:** cemento portland de alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** cemento portland de bajo calor de hidratación con un contenido máximo de C3S y 7% de C3A.
- **Tipo V:** cemento portland resistente a los sulfatos, con un contenido máximo de 5% de 3A y la suma de C4AF + 2C3A máxima de 20%.

### 2.2.3 PROPIEDADES DEL CEMENTO

Dentro de estas propiedades tenemos el módulo de finura, peso específico, tiempo de fraguado y la consistencia; cada una de estas propiedades nos ayuda a realizar el diseño de mezclas.

#### Módulo de finura

El tamaño de los granos del cemento está comprendido entre 2 y 15 micrones. Los granos más activos son aquellos comprendidos en 3 y 30 micrones. Los granos menores de 3 micrones se hidratan casi instantáneamente al entrar en contacto con el agua, mientras que los granos superiores a 60 micrones son prácticamente inertes, ya que su hidratación es extremadamente lenta.

La finura se puede determinar por diversos métodos:

- Tamizado: sólo hasta cierto tamaño.
- Superficies específicas: permeabilímetro Blaine.
- Separación por corrientes de aire: Alpine.

- Otros: rayo láser, sedimentación.

El procedimiento a seguir para la obtención del módulo de finura se efectúa según la Norma (NTC 226) (anexo 4) y es el siguiente:

Se colocan 50gr de cemento, previamente desecado a 105°C, sobre el tamiz 75  $\mu m$  debajo del cual estará ensamblado el de 45  $\mu m$ . Tape el tamiz superior y tamices a razón de unas 250 sacudidas de más o menos 15cm de amplitud, por minuto. Después de cada 50 sacudidas golpee ligeramente los costados y continúe la operación, hasta que la diferencia entre dos verificaciones consecutivas de la masa del material retenido por el tamiz más fino, sea inferior al 0.1% de la masa ensayada. Entre cada toma de masas el número de sacudidas no es inferior a 50.

### **2.2.3.1 CALOR DE HIDRATACION**

El endurecimiento de los cementos se produce por reacciones químicas entre los compuestos mineralógicos del cemento y agua de amasado. Estas reacciones transforman a los componentes anhidros inestables en compuestos hidratados estables.

Las reacciones se producen con desprendimiento de calor y según la proporción en que esté presente cada uno de los compuestos principales, será el calor resultante desprendido por el cemento, de tal forma que habrá cementos con bajos, medianos y alto calor de hidratación.

### **2.2.3.2 Hidratación**

La hidratación del cemento Portland puede explicarse como una secuencia de reacciones químicas entre los componentes del Clinker, el yeso y el agua que conducen al fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento. El proceso de fraguado es la consecuencia del cambio de un sistema de "copos" floculo hacia un sistema de esqueleto visco elástico capaz de resistir tensiones, al menos durante un período corto, sin sufrir deformaciones significativas. En este proceso físico-químico se desarrollan las propiedades mecánicas del material, los compuestos que participan en las reacciones químicas de hidratación del cemento son los siguientes: <sup>[61]</sup> Ver tabla 5.

**Tabla 5. Componentes de cemento**

<b>Componente</b>	<b>Fórmula química</b>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$
Cal libre	$\text{CaO}$
Sulfato cálcico	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Agua	$\text{H}_2\text{O}$

Al comienzo de la hidratación, el proceso tiende a ser controlado principalmente por la velocidad de disolución de las fases del Clinker y del sulfato cálcico. Conforme la hidratación progresa, la velocidad de reacción llega a ser controlada cada vez más por la velocidad de nucleación y formación de cristales de los productos de hidratación y finalmente por la velocidad de difusión del agua e iones disueltos en ella. Los siguientes factores determinan la cinética del proceso de hidratación:

- La composición del Clinker, la calidad y cantidad de iones externos incorporados en la estructura física de los minerales individuales del Clinker.
- El historial procesamiento del Clinker, incluyendo la velocidad de calentamiento, temperatura máxima de cocción y velocidad de enfriamiento.
- La cantidad y forma de sulfatos cálcicos presentes en el cemento.
- La finura del cemento.
- La relación agua/cemento de la mezcla.
- Las condiciones de curado.
- La temperatura de hidratación y la presencia o no de aditivos químicos.

### 2.2.3.3. Sentido físico de los mecanismos de hidratación

El proceso de hidratación del cemento es la nucleación y crecimiento difusional que se puede explicar por teorías de transformación de fase. De esta manera los primeros núcleos de cemento hidratado se forman en los puntos más favorables desde el punto de vista energético de las superficies presentes en el sistema los áridos las adiciones y la superficie de los encofrados suministran los puntos necesarios para la formación de núcleos. Estos crecen bajo un proceso de difusión controlado hasta el agotamiento de los centros de difusión.<sup>[62]</sup>

El tiempo necesario para la formación de una cantidad apreciable de núcleos es el período de inducción el tiempo de fraguado inicial se puede considerar como equivalente a este período, que corresponde físicamente a cierta pérdida de fluidez cuando se ha formado un número apreciable de núcleos de la nueva fase. El tiempo de fraguado final se considera como el tiempo correspondiente en que se produce la formación de puentes entre los centros en crecimiento lo que se denomina endurecimiento del hormigón es decir el cemento hidratado que se interbloque gradualmente y crea una matriz donde los inertes están rodeados y ligados entre sí.

El sentido físico de las reacciones durante la hidratación del cemento se muestra en la tabla 6. Las reacciones de hidratación continúan hasta que los reactantes inadecuados (componentes del cemento y agua) y el espacio para alojar los productos de hidratación hagan que dichas reacciones cesen.

**Tabla 6. Relación entre las etapas de reacción de hidratación del cemento portland<sup>[63]</sup>**

<b>Etapa de reacción</b>	<b>Proceso químico</b>	<b>Proceso físico</b>	<b>Propiedades mecánicas</b>
Primeros minutos	Rápida disolución inicial de sulfatos alcalinos y aluminatos; hidratación inicial del C <sub>3</sub> S; formación del AFt	Alta velocidad de liberación de calor	Cambios en la composición de la fase líquida que pueden influir en el posterior fraguado
Primeras horas (período de Inducción)	Reducción de silicatos y concentración de iones Ca <sup>2+</sup> ; formación de CH y C-S-H; la concentración de Ca <sup>2+</sup> alcanza el nivel de sobresaturación	Formación de productos de hidratación iniciales; baja liberación de calor; incremento continuo de viscosidad	Formación de las fases AFt y AFm que pueden influir en el fraguado y la trabajabilidad; la hidratación de los silicatos cálcicos determina el fraguado inicial y el fin del período

			de inducción
Aproximadamente 3 a 12 horas (etapa de aceleración)	Reacción química rápida del C <sub>3</sub> S y aceleración de la formación de C-S-H y CH; disminución de la concentración de Ca <sup>2+</sup>	La rápida formación de hidratos conduce hacia la solidificación y la disminución de la porosidad; alta velocidad de liberación de calor	Paso de consistencia plástica a rígida (fraguado inicial y final); desarrollo de la resistencia inicial
Etapas de postaceleración	Difusión-formación controlada de C-S-H y CH; recristalización de la etringita hacia monosulfato y alguna polimerización de posibles silicatos; la hidratación del C <sub>2</sub> S llega es significativa	Importante disminución de la velocidad de liberación de calor; descenso continuo de la porosidad; formación de adherencia partícula-partícula y pasta-árido	Desarrollo continuo de resistencia; disminución de fluencia; la porosidad y morfología del sistema hidratado determinan la resistencia última, estabilidad de volumen y durabilidad

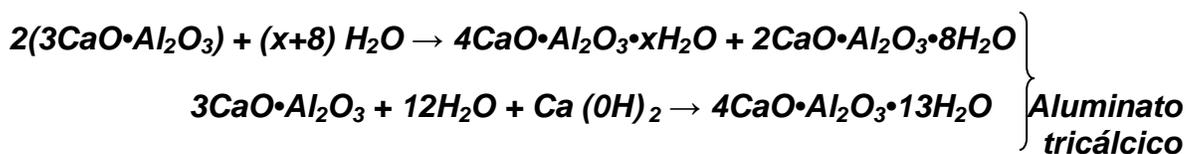
#### 2.2.3.4. REACCIONES DE HIDRATACIÓN

Las reacciones químicas de hidratación que forman el proceso del cemento son:  
[64]

Etapas de hidratación de Alita y Belita: controlan el fraguado normal y desarrollo de la resistencia.



Etapas de hidratación de C<sub>3</sub>A es la más reactiva frente al agua y define el fraguado



Etapa de hidratación del C<sub>4</sub>AF, la hidratación de la fase ferrita es similar a la del C<sub>3</sub>A pero mucho más lenta.



Estas reacciones son todas exotérmicas. La más exotérmica es la hidratación de 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, seguida de la de 3CaO·SiO<sub>2</sub>, y luego 4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y finalmente 2CaO·SiO<sub>2</sub>.

#### 2.2.4 CEMENTOS INDUSTRIALES.

El uso de cementantes industriales en la construcción, es poco común, debido a los altos costos de estos cementantes, las propiedades químicas y físicas de ellos, son bien diferentes a los cementos portland, por ello, los usos en la industria de la construcción en donde en nuestro medio sub desarrollado, y en muchos casos, no se tiene el sentido del ahorro de materiales e insumos, se hace difícil el uso de estos tipo de cementantes, que en muchas veces, permiten unir varios tipos de materiales aparentemente incompatibles por su estructura química.

El mismo hecho en la industria de la construcción, en las reparaciones de los concretos convencionales, en donde es imposible usar el concreto mismo para unir dos piezas de concreto de diferentes edades, se hace imposible, y en estos casos, hay que recurrir a cementantes de tipo epóxico para que la reparación sea posible y duradera, entonces, las casas que comercializan productos que sirven en la industria de la construcción, venden estos materiales a muy buenos precios de donde obtienen excelentes dividendos económicos, pero a la larga, entregan un producto que hace posible la adherencia entre materiales de diferentes tipos de estructuras químicas y el éxito de que las estructuras se desempeñen de la manera esperada por los ingenieros que las diseñan o construyen.

Estos cementos industriales, se pueden usar de manera razonable, que permitan unos nuevos usos en la vida cotidiana del ser humano, permitiendo que podamos llevar una vida más cómoda, y que podamos aportar al medio ambiente soluciones posibles reales que mitiguen el daño que otros seres o nosotros mismos producimos a nuestro entorno.

## 2.2.5 ADICIONES AL CEMENTO

Producir cemento es un proceso costoso porque involucra un gran requerimiento energético y presenta altos aspectos de riesgo medioambiental debido a la producción de gases al poder sustituir cemento por materiales residuales en las mezclas de concreto, se estaría ayudando a la preservación de los recursos naturales y se disminuiría el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta lo anterior se ha hecho indispensable reemplazar en una alta proporción el uso del cemento por otros materiales cementantes tales como las espinelas (aluminato) como agregado grueso y como agredo fino una mezcla de óxidos dichas adiciones son materiales inorgánicos que son incorporados al cemento o concreto, en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades tales como mayor resistencia a mayor edad, menor calor de hidratación, durabilidad, entre otras<sup>[65]</sup>

Con este trabajo se pretende resolver el impase que existe con la resistencia a la comprensión de los concretos que se preparan con algunos materiales del departamento del atlántico y/o del país. Este problema ocasiona que las obras que se construyen con ellos no tienen la durabilidad que se pretenden en los proyectos de construcción y exige el código sismo resistente, trayendo con esto mayores gastos en mantenimientos y conservación del bien construido; además, la utilización de agregados del concreto para reparar las obras trae con ello mayor explotación de canteras y por consiguiente más ataques al medio; sin dejar de mencionar la seguridad de las obras, usuarios y los recursos invertidos, mayores gastos en energía para la fabricación de cemento, explotación y reconstrucción del elemento afectado y qué decir del deterioro y mala imagen del elemento en cuestión.

Solo para citar dos ejemplos de poca durabilidad de los elementos construidos en el Departamento del Atlántico, se mencionan los siguientes: el puente Pumarejo, entregado al servicio en 1974 por el presidente Misael Pastrana Borrero, ha sido intervenido en varias ocasiones, en sus estructura, primero en las bases, luego en la súper estructura y por último en las barandas, y solo hasta ahora lleva 39 años y se dijo en su entonces de construcción que sería un puente para unos 100 años y ya en estos momentos, existe un proyecto para demoler el puente existente y construir otro paralelo a él.

El otro caso, es el hospital Departamental EL Cari, ya fue reforzado en sus estructura, 2003, y fue construido en la década de los 80, porque según recomienda la Norma Sismo Resistente del 98 y lo corrobora la Norma del 2010, las edificaciones tipo I que son necesarias en la conservación de vidas deben soportar sismos de intensidad mayor de los que se manifiestan en sus zonas sísmicas, en esta estructura, hubo que ampliar secciones de columnas ya que las

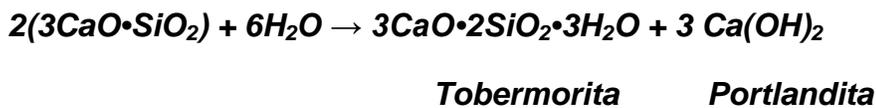
resistencias halladas en las columnas en los momentos de estudios, están por debajo o en el límite de servicio.

Por ello pretendemos colaborar en la solución del problema al investigar sobre concreto traslucido fabricado con los materiales del departamento, ya que este nuevo material según la literatura, aporta una mayor resistencia a la compresión, es más impermeable y por ello no permite con facilidad el ataque de los elementos atmosféricos que degradan a los otros tipos de concreto.

### 2.2.5.1. Uso de las puzolanas en la construcción

Las puzolanas naturales son consideradas como materiales de naturaleza silíceo o silico-aluminoso, que no tienen en sí propiedades aglomerantes pero que pueden finamente divididos y en presencia de humedad reaccionar con la cal a temperatura ambiente y formar por vía topoquímica productos estables, prácticamente insolubles de características semejantes a los formados durante la hidratación del cemento portland específicamente la Tobermorita.

Esta reacción caracteriza la actividad puzolánica, que se explica por la reacción de la sílice y la alúmina como componentes ácidos con la cal. Algunos autores consideran que esta reacción zeolita-cal es una reacción de intercambio, sin embargo el hecho de que a largo plazo encontramos silicatos cálcicos y aluminatos hidratados de estructura cristalina bien definida y no una zeolita calcificada nos evidencia una reacción heterogénea del tipo sólido solución que se representan como:

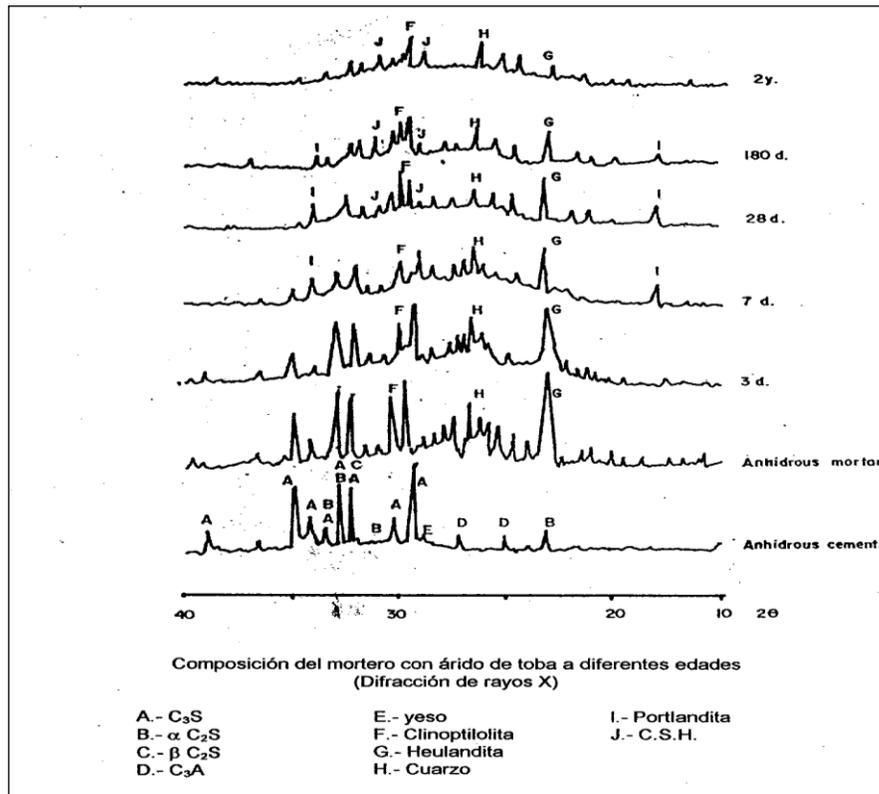


En la figura 2. Se observa las difracciones de una pasta de cemento conteniendo zeolitas, la formación de esta Tobermorita secundaria en el tiempo y la disminución de las intensidades de las fases zeolitizadas, (Heulandita y Clinoptilolita) y de la Portlandita respectivamente.

La reacción zeolita-portlandita ocurren en la interface entre el reactivo (zeolita) y el producto de la reacción (tobermorita), siendo limitante la difusión de los iones calcio a través de la capa de Tobermorita, lo cual hace que esta reacción ocurra lentamente y su evidencia sea a edades posteriores a los 7 días.

La alta porosidad de este mineral además de hacerlo ideal como árido o agregado ligero, favorece también este proceso pues la superficie activa o de reacción es mayor. No obstante diversas pruebas hacen suponer que los canales o poros al llenarse de gel cementico hacen que esta partícula adquiera mayores resistencias que las propias del mineral, haciéndola un árido ligero de alta resistencia.

FIGURA 2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X, PASTA DE CEMENTO CON ZEOLITA<sup>[66]</sup>



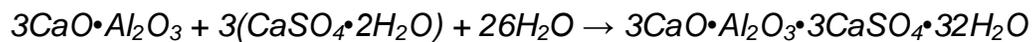
La Portlandita es muy lábil al ataque del CO<sub>2</sub> y otros iones agresivos como los Cl<sup>-</sup> formando compuestos en la masa del hormigón, que por diferencias de volumen entre productos y reactantes provocan fisuras que debilitan su estructura. Dado que las zeolitas reaccionan desde edades muy tempranas con el Ca(OH)<sub>2</sub>, influye de manera decisiva en la estabilidad de los productos de hidratación al eliminar o disminuir la Portlandita transformándola en Tobermorita secundaria, mejorando sustancialmente la calidad y continuidad de la interface árido-pasta de cemento hidratado.

Lo cual se traduce en mayor resistencia mecánica y menor facilidad para la difusión de los iones agresivos que deterioran el hormigón y los aceros en caso de estructuras armadas.

El silicato cálcico hidratado Tobermorita secundaria formada durante la reacción puzolánica tiene una morfología diferente, más compacta e interconecta a la interface del árido con la pasta al desaparecer los cristales alargados de la Portlandita, haciéndola resistente a la fisuración.

### 2.2.5.2 Sulfato

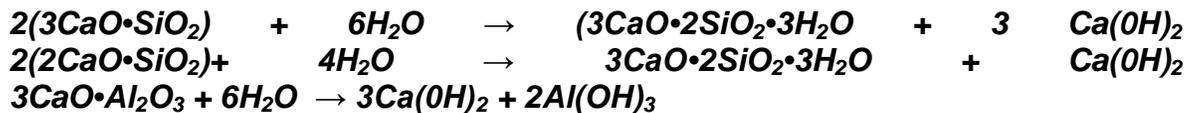
En la molienda del cemento se añade al Clinker un sulfato a fin de retardar el fraguado inicial del cemento (al moler el Clinker sin yeso fragua instantáneamente), lo cual se debe a que el aluminato tricálcico en presencia del yeso no se hidrata de inmediato sino que reacciona con el yeso produciendo con ello una doble sal expansiva cristalina o sulfoaluminato llamada 'Ettringita'  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$  manteniéndose así la concentración de aluminatos tricálcico por debajo de la precisa para que empiecen a separarse sus hidratos cristalinos como se observa en la reacción:<sup>[67]</sup>



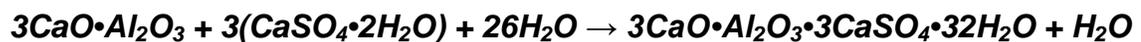
La adición de yeso no debe superar el 6%, porque de lo contrario se dilata dentro del cemento fraguado, produciendo fisuras.<sup>[68]</sup>

#### 2.2.5.2.1 Función del sulfato

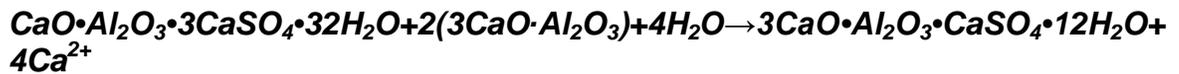
El tiempo de fraguado es el tiempo en el cual el cemento adquiere dureza pétreo en dicho lapso de tiempo ocurre varias reacciones químicas entre las cuales se tiene:<sup>[69]</sup>



El sulfato retarda el fraguado inicial del cemento lo cual se debe a que el aluminato tricálcico en presencia del yeso no se hidrata de inmediato sino que reacciona con el yeso produciendo una capa protectora sobre los granos de cemento, conservándose así la concentración de aluminatos tricálcico para que empiecen a retirarse sus hidratos cristalinos.<sup>[70]</sup>



*Ettringita ( AFt )*



**Monosulfo aluminato (AFm)**

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica con cada uno de sus componentes los cuales se muestran en Tabla 7.<sup>[61]</sup>

**Tabla 7. Componentes del cemento**

<b>Componente</b>	<b>Fórmula química</b>
Silicato tricálcico	3CaO•SiO <sub>2</sub>
Silicato dicálcico	2CaO•SiO <sub>2</sub>
Aluminato tricálcico	3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Dichas reacciones determinan el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar tal estado corresponde al fraguado inicial, a medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable, este estado se denomina fraguado final. La determinación de estos dos estados o el lapso comprendido entre ambos se llaman tiempo de fraguado de la mezcla, el tiempo de fraguado inicial alcanza un valor de 45 a 60 minutos, el tiempo de fraguado final está estimado en 10 horas aproximadamente. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado compuestos de yeso de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.<sup>[70, 71]</sup>

## 2.3. CONCRETO TRASLUCIDO.

### 2.3.1. HISTORIA DEL CONCRETO TRASLUCIDO.

Si bien es cierto que el uso de link de búsquedas en la web, que no sean de base de datos científicas no se consideran que sean las más acordes en la documentación o presentación de un proyecto de investigación que apunta al aporte de nuevo conocimiento, en este caso se hace valedero, porque la investigación que aquí se presenta, si tiene todo el rigor científico del caso y no como las presentaciones que se hacen a continuación, que fueron someras y sin apoyo en normas o leyes como es el caso de esta investigación.

El primer hormigón traslucido fue fabricado en el 2001 por el Arquitecto Húngaro Araron Lasonczi al cual le dio el nombre de Litracom (Light-transmitting concrete), este concreto construido con fibra ópticas de diferentes diámetros y demostró que este dejaba pasar la luz.

([http://www.elcomercio.com/construir/Construccion-concreto-diseno-luz\\_forma\\_0\\_97610\\_2\\_4\\_05.html](http://www.elcomercio.com/construir/Construccion-concreto-diseno-luz_forma_0_97610_2_4_05.html)). 2013/03/26 – 14.40.

En el 2005 los estudiantes Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Galván Cazares de la Universidad Autónoma Metropolitana UAM crearon el concreto traslucido ILUM, compuestos por cemento blanco, arena, agregado grueso, fibras e Ilum. Este último elemento, no se conoce sus componentes y sus inventores aun no dan a conocer sus componentes.

(<http://www.comunicacionuniversitaria.uam.mx/boletines/anteriores06/indice/dic5-06-2.html>) 2013/03/26 – 14.45

Recientemente Néstor Hernán Núñez Tolentino y Guillermo Arellano Castillo, de la Universidad Nacional de Perú, de la facultad de Ingeniería, fabricaron Hormigón traslucido empleando Fluorita como aditivo.

(<http://www.slideshare.net/rusogac/concreto-traslucido-presentation>) 2013/03/27 – 10.20

Universidad de Estadual Vale Do Acaraú UVA Campus Cidao (Brasil), concreto traslucido con refuerzos con base en fibras de plástico y cambios de color. ([http://www.uvanet.br/mostra\\_noticia.php?id=451](http://www.uvanet.br/mostra_noticia.php?id=451)) 2013/03/27 – 10.35

Universidad de Palermo en Buenos Aires, Argentina, quienes producen concreto traslucido a base de fibra de vidrio (óptica).

([http://www.palermo.edu/arquitectura/cedtyp/CEDtyp\\_inv\\_aplicada.html](http://www.palermo.edu/arquitectura/cedtyp/CEDtyp_inv_aplicada.html)) 2013/03/27 – 10.50

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN. LUÍS V. GARCÍA BALLESTER, M<sup>a</sup> CRUZ MARTÍNEZ BOSCH.

<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12081/proyecto%20completo%20h.t..pdf?sequence=1>) 2013/03/27 – 10.55

## 2.3.2. APLICACIONES DEL CONCRETO TRASLUCIDO.

### 2.3.2.1. APLICACIONES BIOLÓGICAS

La industria de las comunicaciones a principio de siglo XXI, igualmente dio un gran salto en la cantidad, calidad y velocidad de envío de información que se pueden dar en fracciones de segundos desde un punto remoto a otro, llegando al casi imposible de estar informado en tiempo real, y esto se lo debemos a que algunos investigadores de la naturaleza, entre ellos la profesora Dra. Joanna Aizenberg,<sup>[72]</sup> de la universidad de Harvard, encontró que la Ofiuras, que es un animal marino parecido a la estrella de mar, tiene en su estructura ósea externa una serie de micro perforaciones que resultaron ser pequeños tunes de visión, los cuales están estratégicamente distribuido por todo su cuerpo permitiendo ver a diferentes distancias la presencia de sus depredadores, incluso puede detectar sombras, ya que sus pequeños ojos, que están conformados por **“cristales de calcita y son utilizados por las ofiuras para la construcción del esqueleto son también un componente de órganos foto sensoriales especializados, concebiblemente con la función de un ojo compuesto”**, esta composición, que es la misma que se encuentra en el vidrio, y en alta pureza en la fibra óptica, les permiten hacer cambios durante el día o la noche, tomando diferentes colores según la intensidad de la luz que reciben y es lo que les permite poder escapar de sus depredadores. Si se asimila este tipo de estructura que brinda la naturaleza, se podrá construir muros, pisos, o cualquier elemento de las edificaciones que permitan dejar pasar luz natural suficiente al interior de los elementos arquitectónicos que y a su vez permita hacer ahorros importantes en el consumo energético durante el día y tener una estructura lo suficientemente fuerte que proteja de los peligros a que se ve enfrentada la humanidad en la cotidianidad.

### 2.3.2.2. APLICACIONES INDUSTRIALES.

Se han fabricado baldosas translucidas de alta calidad para ser empleadas en hoteles y restaurantes estas se diseñaron y fabricaron usando un contenido bajo de arcilla,<sup>[56, 91]</sup> el contenido de arcilla se mantuvo entre 10 y 15 %, para minimizar

los efectos al deterioro por disparo de las contracciones anisotrópicas que ocurren en lozas de concreto convencionales.<sup>[88,93]</sup> Estos materiales son altamente cristalino<sup>[94]</sup> y son resistentes a la ruptura de borde,<sup>[95]</sup> fortalezas (MORs) de 100 MPa<sup>[94,96]</sup> y una resistencia a la fractura de 2 MPa.<sup>[97]</sup>

En este mismo contexto se han obtenido óxido de magnesio, MgO, policristalino transparente al infrarrojo como potencial sustituto del zafiro utilizado en fabricación de ventanas y protectores para sensores. Sin embargo, la fabricación de esta cerámica transparente, MgO, es un reto debido a la alta temperatura de sinterización necesario para la densificación completa de MgO. La cerámica transparente MgO fue fabricada por sinterización a 1600 °C durante 2 h al vacío.<sup>[98]</sup> Se empleó prensado isostático en caliente para fabricar cuerpos sólidos de alta pureza a MgO 90-95% de densidad, con elevada translucidez y un tamaño de grano de aproximadamente 0,2 μm.<sup>[99]</sup> Con aditivos adecuados y utilizando un prensado en caliente, la sinterabilidad de MgO puede ser sustancialmente mejorada.

La fabricación de la cerámica MgO transparente fue reportada por primera vez por Rice<sup>[100]</sup> el cual sinterizó a presión con aditivo y LiF encontrado que la transmisión óptica infrarroja de la transparencia MgO poli cristalino está cercana a la de un solo cristal. Aunque los mecanismos de sinterización de MgO con aditivos se han reportado anteriormente.<sup>[101,102]</sup>

De acuerdo con Hart y otros,<sup>[102]</sup> la densificación del MgO adicionando LiF depende de la formación de un fase líquida que actúa inicialmente como lubricante que permite el rea regló de las partículas y más tarde como un medio de transporte del material para cambios de presión en la sinterización de la fase líquida.

En el contexto de esta investigación, curiosamente hasta el momento esta es la bibliografía disponible y los diferentes trabajos que se han encontrado, cuyo enfoque están relacionados con las resistencias y translucidez de materiales.

## **2.4. COMPONENTES DEL CONCRETO TRASLUCIDO.**

### **2.4.1. EL VIDRIO.**

Se puede definir como vidrio a todo material inorgánico duro, frágil, transparente y amorfo que puede ser empleado en la fabricación de ventanas, lentes, botellas y otros productos. El vidrio se obtiene por fusión a unos 1.500 °C de arena de sílice (SiO<sub>2</sub>), carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y caliza (CaCO<sub>3</sub>).<sup>[103,104]</sup>

#### 2.4.1.1. EL VIDRIO EN LA ANTIGÜEDAD

Se tiene conocimiento que el vidrio fue utilizado por primera vez en la fabricación de: cuentas de collar o lentejuelas. En cuanto a la manufactura del vidrio, se tiene información que los artesanos Egipcios establecieron la manufactura del vidrio en oriente. La industria productora del vidrio, se mantuvo y alcanzó su máximo esplendor en Egipto y Mesopotamia hasta el 1200 a. C. El vidrio de sílice tal como lo conocemos, se originó en Egipto; donde le aplicaban pigmentos que le daban color azul o verde. En la época helenística Egipto era el principal proveedor de piezas de vidrio. A pesar de lo anterior, el desarrollo científico alrededor del vidrio, se dio en Fenicia en el siglo I antes de .Cristo.

El vidrio cuenta con numerosas aplicaciones en la actualidad. Las botellas de PVC o PET no tienen la misma apariencia de frescura propia del vidrio, por lo que se han buscado diferentes presentaciones, al someter al vidrio a la acción de diferentes aditivos los cuales le modifican la apariencia produciendo sensación de comodidad en el usuario.

#### 2.4.1.2. Estado vítreo

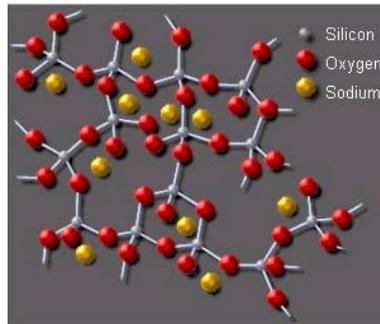
Fundamentalmente la materia en condiciones normales, podemos encontrarla en tres estados; estado sólido, estado líquido y estado gaseoso. Sin embargo, el vidrio, no se puede ubicar fácilmente en esta clasificación, debido a que la materia puede presentar otras formas o estados bajo esas condiciones, por ejemplo el vidrio se presenta en estado líquido sub enfriado.

Los materiales en estado vítreo tienen la apariencia de un sólido con cierta dureza y rigidez, pero se deforman al aplicarles esfuerzos externos moderados. De esta manera podemos ver los vidrios como líquidos con una viscosidad tan alta que le confiere aspecto de sólido sin serlo, debido a que presentan un ordenamiento de corto alcance en términos de su micro estructura, pero en términos globales no presentan un orden a largo alcance.

Esto ha conducido a diferentes investigadores a plantear diversas teorías sobre la estructura interna del estado vítreo, tanto de tipo geométrico, basadas tanto en las teorías atómicas como en las de tipo energético.

De acuerdo a la teoría atómica, el óxido de silicio,  $\text{SiO}_2$  es la unidad básica de la red de orto silicatos en cualquier material de sílice en el cual el átomo de silicio se está rodeado por cuatro átomos de oxígeno situados en los vértices de un tetraedro cada uno de los cuales le une a los átomos de silicio vecinos<sup>[85]</sup> (puente oxo) tal como lo muestra la figura 3,

Figura 3: SiO<sub>2</sub> en estado vítreo.



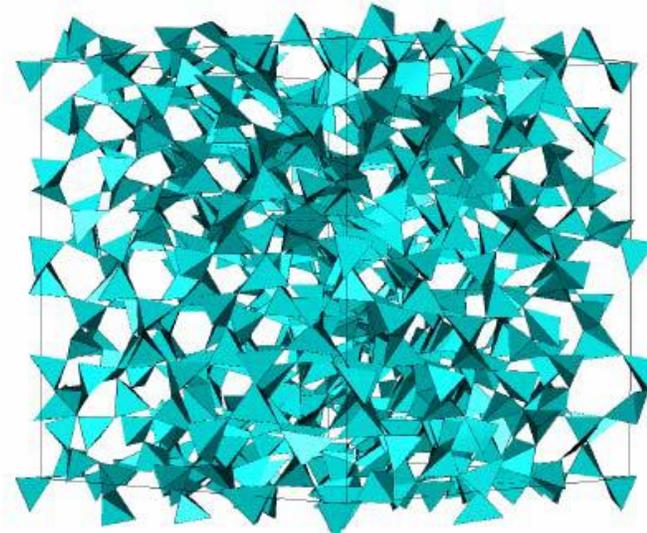
### 2.4.1.3. ESTRUCTURA DEL VIDRIO

El especial comportamiento de los vidrios y las peculiaridades de su estado físico que, si bien le proporciona ciertas semejanzas con los sólidos cristalinos,<sup>[100,101]</sup> les asemeja mucho más a los líquidos, no permite enunciar con rigor una definición basada en conceptos físicos y estructurales. Además por la complejidad de la mayoría de los vidrios y la diferente naturaleza química de los mismos impide definirlos atendiendo a su composición.

Se comprende, por tanto, la imposibilidad de conjugar, con la concisión y generalización que toda definición<sup>[102,103]</sup> requiere, las exigencias fisicoquímicas conceptuales con la naturaleza del estado vítreo, por lo que de una forma u otra la mayoría de las definiciones propuestas resultan incompletas. En una de las primeras definiciones<sup>[104]</sup> se definen los vidrios como líquidos sub enfriados. Pero este criterio pronto fue objeto de enconadas polémicas, pues los vidrios no se encuentran en equilibrio interno, mientras que los líquidos verdaderos, aunque se hallen sub enfriados si lo están.

Actualmente se define el vidrio sódico- cálcico como un producto inorgánico amorfo, constituido preferentemente por sílice, duro, frágil y transparente, de elevada resistencia química y deformable a altas temperaturas. Trabajos posteriores<sup>[97,98]</sup> ya hacen referencia a nuevas características de la masa vítrea como es su elevada viscosidad<sup>[105]</sup> y comienzan a emplear el término cristalización o de vitrificación. Sin embargo en ambos trabajos se limita la denominación de vidrio a productos inorgánicos, sin que esto pueda justificarse desde un punto de vista fisicoquímico.

Figura 4. Estructura del vidrio<sup>[94]</sup> TOMADO DE: (Estructura de algunos vidrios)



#### 2.4.1.4. VIDRIOS COMUNES

Se denomina sílice a un óxido de silicio de fórmula química  $\text{SiO}_2$ . Se presenta en estado sólido cristalino bajo diferentes formas enantiótopicas. Las más conocidas son el cuarzo (la más frecuente y estable a temperatura ambiente), la cristobalita y las tridimitas. Además de estas formas, se han llegado a identificar hasta veintidós fases diferentes, cada una de ellas estable a partir de una temperatura perfectamente determinada.

Cuando se calienta el cuarzo lentamente, este va pasando por distintas formas enantiótopicas hasta alcanzar su punto de fusión a  $1.723\text{ }^\circ\text{C}$ . A esta temperatura se obtiene un líquido incoloro y muy viscoso que si se enfría con relativa rapidez, se convierte en una sustancia de naturaleza vítrea a la que se suele denominar vidrio de cuarzo.

Este vidrio de cuarzo presenta un conjunto de propiedades de gran utilidad y de aplicación en múltiples disciplinas: en la investigación científica, tecnológica, en la vida doméstica y en general en todo tipo de industria. Se destacan como más relevantes las siguientes:

Gran resistencia al ataque por agentes químicos, por lo que es muy utilizado como material de laboratorio. Sólo es atacado, de manera importante a temperatura ambiente, por el ácido fluorhídrico en sus diferentes formas (gaseosa o disolución). A temperaturas superiores a  $800\text{ }^\circ\text{C}$  reacciona a velocidades apreciables con sales alcalinas o alcalinotérreas, en particular con sales sódicas, tales como el carbonato o el sulfato sódicos.

Si bien su densidad a temperatura ambiente es relativamente alta (2,2 g/cm<sup>3</sup>) su coeficiente de dilatación lineal medio a temperaturas inferiores a los 1.000 °C es extremadamente pequeño: se sitúa en  $5,1 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , lo que permite, por ejemplo, calentarlo al rojo y sumergirlo bruscamente en agua, sin que se fracture. El número de aplicaciones que esta propiedad suscita es elevado.

Su índice de refracción a la radiación electromagnética visible es 1,4589, lo que le hace apto para instrumentos ópticos en general.

Su resistividad eléctrica es del orden de los 1020 ohm-cm en condiciones normales lo que le convierte en uno de los mejores aislantes eléctricos conocidos, con todas las aplicaciones que de ello se derivan en la industria moderna.

La absorción de la radiación electromagnética del vidrio de cuarzo muestra una gran transparencia a la luz visible así como en las bandas correspondientes al espectro ultravioleta, lo que le hace especialmente apto para la fabricación de lámparas y otros instrumentos generadores de este tipo de radiación.

Otras propiedades, sin embargo, dificultan su elaboración y utilización. En particular, las siguientes:

El punto de fusión de la sílice cristalizada depende de la variedad enanciotrópica que se trate. Para la variedad estable a partir de los 1.470 °C (la  $\alpha$ -cristobalita) este es de 1.723 °C. Estas son temperaturas que no pueden alcanzarse fácilmente, salvo en instalaciones muy especializadas. Por esta razón, la fabricación del vidrio de cuarzo ha sido siempre rara y cara. Industrialmente, su producción es bastante limitada si se la compara con otros tipos de vidrio.

Su viscosidad en estado vítreo presenta una gran variación con la temperatura, pasando de valores superiores a 107 poises (aspecto totalmente sólido) por debajo de los 1.800 °C, a 103,5 poises a 2.758 °C (aspecto pastoso y moldeable).

Las viscosidades toman valores tan sumamente elevados que deben expresarse como potencias de diez. En general, las viscosidades de los vidrios suelen darse bajo la forma de su logaritmo decimal. Para obtener el vidrio de cuarzo es necesario partir de un cuarzo cristalizado de gran pureza, finamente molido, que se somete a altas temperaturas.

El líquido que se obtiene presenta gran cantidad de burbujas diminutas de aire ocluido entre los granos del cuarzo, que le dan un aspecto lechoso, traslúcido, al que se suele denominar gres de cuarzo y cuyas aplicaciones como recipiente resistente al ataque químico o a los cambios bruscos de temperatura son frecuentes. Sin embargo, resulta totalmente inútil para aplicaciones en las que se precise una gran transparencia (lámparas de rayos UVA, lámparas de cuarzo y óptica en general). Para estas últimas es necesario que durante el proceso de fusión se puedan desprender esas burbujas gaseosas ocluidas.

Para que ese desprendimiento fuera efectivo bajo la presión atmosférica y a una velocidad aplicable industrialmente, se precisaría que el líquido presentara una viscosidad por debajo de los 200 poises, lo que en el caso de la sílice líquida implicaría temperaturas del orden de los 3.600 °C. En la práctica para poder desgasificar el vidrio de sílice se funde el cuarzo a temperaturas próximas a los 2.000 °C en recipientes donde se hace el vacío, complicando mucho la tecnología de su producción y, por consiguiente, encareciendo el producto.

La resistencia a la tracción en estado puro, en condiciones normales y con una superficie perfectamente libre de toda fisura, es de unos 60 kbar. Esta gran resistencia (superior a la del acero) se ve fuertemente disminuida por imperfecciones en la superficie del objeto, por pequeñas que estas sean.

Su módulo de Young a 25 °C es de 720 kbar y el de torsión 290 kbar. Cuando se le somete a un esfuerzo de tracción mecánica a temperaturas próximas a la ambiente, se comporta como un cuerpo perfectamente elástico con una función alargamiento/esfuerzo lineal, pero sin prácticamente zona plástica cercana a su límite de rotura. Esta propiedad, unida a la resistencia mecánica a la tracción anteriormente citada, lo convierte en un producto frágil. Al golpearlo, o se deforma elásticamente y su forma no se altera o, si se sobrepasa su límite de elasticidad, se fractura.

#### 2.4.1.5. PROPIEDADES DEL VIDRIO COMÚN

Las propiedades del vidrio común son una función tanto de la naturaleza de las materias primas como de la composición química del producto obtenido. Esta composición química se suele representar en forma de porcentajes en peso de los óxidos más estables a temperatura ambiente de cada uno de los elementos químicos que lo forman. Las composiciones de los vidrios silicatos sódicos más utilizados se sitúan dentro de los límites que se establecen en la tabla adjunta.

**Tabla 8. Intervalos de composición frecuentes en los vidrios comunes**

Componente	Desde ... %	... hasta %
SiO <sub>2</sub>	68	74,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0,45
CaO	9	14
MgO	0	4

Na <sub>2</sub> O	10	16
K <sub>2</sub> O	0	4
SO <sub>3</sub>	0	0,3

Muchos estudios, muy particularmente en la primera mitad del siglo XX, han intentado establecer correlaciones entre lo que se denominó la estructura interna del vidrio, generalmente basada en teorías atómicas, y las propiedades observadas en los vidrios. Producto de estos estudios fueron un conjunto de relaciones, de naturaleza absolutamente empírica, que representan de manera sorprendentemente precisa muchas de esas propiedades mediante relaciones lineales entre el contenido de los elementos químicos que forman un vidrio determinado (expresado bajo la forma del contenido porcentual en peso de sus óxidos más estables) y la magnitud representando dicha propiedad. Curiosamente, las correlaciones con las composiciones expresadas en forma molar o atómica son mucho menos fiables.

**Tabla 9. Composición "tipo" de vidrio de silicato sódico**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
73,2	1,51	0,1	10,62	0,03	13,22	1,12	0,2

#### 2.4.1.6. RECICLAJE DEL VIDRIO.

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 30% con respecto al vidrio nuevo.

Para su adecuado reciclaje el vidrio es separado y clasificado según su tipo el cual por lo común está asociado a su color, una clasificación general es la que divide a los vidrios en tres grupos: verde, ámbar o café y transparente. El proceso de reciclado luego de la clasificación del vidrio requiere que todo material ajeno sea separado como son tapas metálicas y etiquetas, luego el vidrio es triturado y fundido junto con arena, hidróxido de sodio y caliza para fabricar nuevos productos que tendrán idénticas propiedades con respecto al vidrio fabricado directamente de los recursos naturales. En algunas ciudades del mundo se han implementado programas de reciclaje de vidrio, en ellas pueden encontrarse contenedores especiales para vidrio en lugares públicos.

En ciertos casos el vidrio es reutilizado, antes que reciclado. No se funde, sino que se vuelve a utilizar únicamente lavándolo (en el caso de los recipientes). En acristalamientos, también se puede aprovechar el vidrio cortándolo nuevamente (siempre que se necesite una unidad más pequeña).

**Imagen 1. Vidrio reciclado para uso como componente de concretos translucidos.**



## CAPITULO III

### 3. PROCESO DE INVESTIGACION.

Para hacer cumplir los objetivos del proyecto, tanto general como los específicos, es necesario aplicar varias técnicas y metodologías que establezcan y aclaren los resultados que se deben obtener para validar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes de los concretos, una vez determinadas estas propiedades se realizaron los diseños de mezclas de los diversos especímenes, tanto para el concreto tradicional y el concreto traslucido (Cts). Luego con la información arrojada por los diseño de mezcla, se procedió a fabricar los especímenes y a determinar los tiempos de fraguado y tiempo de curado tanto para el concreto tradicional como para el concreto traslucido. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes tradicionales y traslucidos y luego se analizaron y compararon los datos dentro de un tipo de concreto y después se compararon los datos obtenidos de los dos tipos de concretos.

En la presente investigación, se toman para estudio, las calidades de concretos más usadas en la práctica constructiva del país, como es el uso de resistencias de concreto de 3000 y 3500 psi (21 y 24.5 MPa) para concretos estructurales, en algunos casos, se usan concretos de más baja o más alta resistencia a la compresión pero o son estructuras especiales o de poca importancia según el caso.

Para guardar el rigor científico y que los resultados sean homologables, se seguirán normas técnicas colombianas aplicables a los diseños de concretos, a los ensayos de los especímenes según la propiedad a determinar y a toda la práctica de la construcción de elementos de concreto.

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES CONDUCENTES AL DISEÑO DE MEZCLA.

Entre las pruebas o ensayos que se le aplican a los agregados finos y agregados gruesos, necesarios para desarrollar los diseños de mezclas de los concretos, se encuentran los siguientes: densidad aparente, densidad nominal, porcentaje de absorción, humedad natural, granulometría, módulo de finura, textura, forma, tamaño máximo, estimación del contenido de aire, masa unitaria compacta, masa unitaria suelta, densidades de los cementos, selección de asentamiento, estimación de contenido de agua de mezclado, determinación de la resistencia del concreto, relación agua cemento, contenido de cemento y proporción de los agregados.

### 3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE, GRANO FINO Y GRANO GRUSO.

Por orden de metodología, no existe un orden riguroso del procedimiento, por lo que el investigador puede iniciar su proceso en cualquier orden, lo importante aquí es que se tengan todos los elementos de diseño al momento de enfrentarse a esa tarea, diseñar el concreto.

La densidad aparente se determinó aplicado dos procesos que están reglamentados por las Normas Técnicas Colombianas NTC 237(anexo 5) y NTC 176(anexo6). La primera para determinar la densidad aparente para grano fino y la segunda para determinar la densidad aparente para grano grueso. La imagen 2, muestra los implementos utilizados para el manejo de material granular utilizados en este proceso.

**Imagen 2, Implementos para manejo de materiales granulares, fotografía tomada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales Universidad de la Costa (CUC)**



#### 3.1.1.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE PARA GRANO FINO.

La determinación de la densidad aparente del agregado fino reglamentada en la Norma técnica Colombiana 237, sigue el siguiente protocolo:

Se determina un valor de 500 g de masa del agregado fino  $m_0$ , denominada muestra representativa, empleando para ello un recipiente no absorbente de masa conocida, la muestra representativa se vierte en un Beaker de 1000 ml con agua y se deja en estas condiciones durante 24 horas. Pasado este tiempo se saca todo el material granular posible del agua y se seca manualmente con otro material absorbente o utilizando como fuente de secado la luz solar y/o empleando secado a la sombra en corriente de aire, todo esto en un tiempo comprendido entre 2 y 3 horas tal como lo muestra la imagen 3.

Imagen 3. Secado del material granular con el fin de determinar la densidad aparente.



Del material seco superficialmente se tomó una porción a la cual se le determinó el valor de su masa, este valor se denominó masa saturada y superficialmente seca (S)

A la masa saturada y superfinaamente seca (S) se vierte en un picnómetro de volumen 250 ml, el cual se le determinó previamente su masa tanto vacío ( $B_0$ ) como lleno con agua (B) a 20°C, se verificó que no quedase el material sin sumergir, luego se hace girar el picnómetro para eliminar el mayor cantidad de burbujas de aire y se procede a cuantificar la masa del sistema picnómetro-agua-material granular en la balanza, anotando su respectivo valor, el valor de la masa determinado en este paso se le denominó masa del picnómetro con la muestra hasta la marca de agua saturada (C). El material granular saturado se lleva al horno industrial a gas con regulador 550°C (CUC) por 24 horas a una temperatura de 110 °C, como lo muestra la imagen 4.

Imagen 4. Introducción del material granular saturado al horno.



Alcanzado el tiempo de calentamiento, se retira el material granular del horno y se procede a pesarlo nuevamente, al valor de masa obtenida en esta paso se le denomina masa al aire seca (A). Como se tiene la masa del picnómetro lleno con agua (B), la masa saturada y superfinamente seca (S), la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca (C) y la masa al aire seca (A) y el volumen del picnómetro  $V_{Pic}$ , podemos entonces calcular el porcentaje de absorción, Densidad nominal  $D_{S\text{ Nominal}}$ , Densidad aparente  $D_{S\text{ Aparente}}$  y la humedad natural  $H_N$ .

Los valores de estas propiedades se puede obtener al aplicar las siguientes formulas:

$$\% \text{ Absorción} = \left[ \frac{(B-A)}{A} \right] * 100$$

$$\text{Densidad Nominal } D_{S\text{ Nominal}} = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad Aparente } D_{S\text{ Aparente}} = \frac{A}{(B+A-C)}$$

$$\text{Humedad Natural } H_N = B_0 - C$$

### 3.1.1.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE PARA GRANO GRUESO.

La determinación de la densidad aparente del agregado grueso reglamentada en las Normas Técnicas Colombiana 176, sigue el mismo protocolo que el aplicado para grano fino pero presenta las siguientes variantes: el valor la masa representativa para iniciar el procedimiento se escoge entre 3000 – 5000 g. para

este trabajo y a criterio del investigador, se empleó una masa representativa de 3000 g; el valor de la masa saturada y superfinamente seca se simboliza como  $B'$ ; para determinar masa saturada se utiliza una canasta o malla en vez de un picnómetro y se le cambia el símbolo por  $C'$ ; la masa al aire seca se simboliza ( $A'$ )

### 3.1.1.2.1. DETERMINACIÓN DE LA MASA SUMERGIDA DEL GRANO GRUESO.

La muestra del material granular procedente del horno se vierte en recipiente cilíndrico tipo maya al cual se le determino la masa sumergido en agua, luego se introduce con todo y material granular en un recipiente lleno parcialmente con agua evitando que la malla no toque las paredes del recipiente que contiene el agua. La malla con el material granular previamente se sujetan a la parte superior de una balanza tal como lo muestra la imagen 5 y se le determina la masa del material granular sumergido en agua ( $C'$ ).

Imagen 5. Pesado del material granular sumergido en agua, con el fin de determinar la densidad aparente.



### 3.1.1.2.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD NOMINAL, DENSIDAD APARENTE Y EL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL GRANO GRUESO.

Como para el agregado grueso se tiene la masa saturada y superfinamente seca ( $B'$ ), la masa saturada ( $C'$ ) y la masa al aire seca ( $A'$ ) y el volumen del picnómetro  $V_{Pic}$ , podemos entonces calcular el porcentaje de absorción, Densidad nominal  $D_{S\ Nominal}$ , Densidad aparente  $D_{S\ Aparente}$  y humedad natural.

Los valores de estas propiedades se puede obtener al aplicar las siguientes formulas:

$$\% \text{ Absorción} = \left[ \frac{(B'-A')}{A'} \right] * 100$$

$$\text{Densidad Nominal } D_{S \text{ Nominal}} = \frac{A'}{A'-C'}$$

$$\text{Densidad Aparente } D_{S \text{ Aparente}} = \frac{B'}{(B'-C')}$$

$$\text{Humedad Natural } H_N = m_0 - C$$

### 3.1.2. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUSOS.

EL método de determinación de la granulometría de los agregados finos y grueso sigue el protocolo exigido por las Normas Técnicas Colombianas NTC 77(anexo 7) la cual cubre la separación y la distribución de granos según el tamaños de las partículas del agregado fino o grueso por tamiz. La imagen 6, muestra los implementos utilizados para determinar la granulometría de los agregados finos y grueso (Tamices, recipiente de fondo y bandejas).

**Imagen 6. Tamices utilizado en la determinación de la granulometría de los materiales.**



### **3.1.2.1. PROCESO DE OBTENCION DE MATERIAL GRANULAR PARA LOS CONCRETOS TRADICIONAL Y TRASLUCIDOS.**

Para determinar la granulometría de los agregados finos y grueso de los concretos traslucidos, fue necesario seguir el siguiente procedimiento:

Primero se separa el vidrio en la fuente de otros materiales, seguidamente se lavó el vidrio con agua de grifo, se seca al sol y a corriente de aire por tiempo de 72 horas, una vez seco el material de vidrio se lleva a la máquina de desgaste de los Ángeles (ver imagen 7), se tomó una muestra de tamaño suficiente a la capacidad del tabor de la máquina de los ángeles y se sometió el material a la acción de la maquina por un tiempo de una hora, después se retira se clasificó según su tamaño como agregado fino o agregado grueso, empleando para este fin el tamiz número 4.

El material granular para los concretos tradicionales se adquirieron del comercio local en la ciudad de Barranquilla.

El proceso continua igual al descrito anteriormente para determinar las propiedades granulométricas de los agregados de los concretos.

**Imagen7. Proceso de obtención del material granular empleado una Maquina de los Ángeles.**



#### **3.1.2.1.1. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.**

A criterio del investigador, se toma una muestra de 500 g de material granular previamente secado al horno, luego se ensamblan los tamices y el recipiente de fondo en forma decreciente según sus tamaño de poro ordenados como se muestran en la tabla 11, seguidamente se vertió la muestra en el tamiz de mayor tamaño de poro y se procedió a agitar vigorosa y constantemente el conjunto de tamices por un lapso de tiempo de dos minutos, tal como lo muestra la imagen 8.

**Tabla 10. Orden de tamices para material granular fino.**

Tamiz	
Pulg.	mm
No.8	2,360
No.16	1,180
No.30	0,600
No.50	0,300
No.100	0,150
No.200	0,075
FONDO	

**Imagen 8. Proceso de tamizado del material granular fino y grueso**



Acto seguido se determinó la masa del material granular retenida en cada tamiz y la masa del material granular que queda en el recipiente de fondo. Se verifico si la suma de los valores de las masas retenidas en cada tamiz y el recipiente de fondo

no supere el 1 % de la masa total tamizada, la imagen 9 muestra los diferentes tamaños de grano fino después del proceso de tamizado.

**Imagen 9. Resultado del tamizado del material granular fino en la determinación de la granulometría de los materiales.**



#### **3.1.2.1.1 DETERMINACION DEL MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO.**

Esta propiedad se determinó de la siguiente manera: se tomaron los promedios ponderados calculados de los porcentajes acumulados de los valores de las masas retenida en cada tamiz excluyendo las masas retenidas en el tamiz 200 y el en el recipiente de fondo.

#### **3.1.2.1.2. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

Se tomó un peso de material dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado, se ensamblan y organizan los tamices para agregado grueso de forma decreciente, se agitan el conjunto llenos de forma manualmente usando la serie de tamices propios según la tabla 12. Luego se determinó la masa retenida en cada tamiz y el recipiente de fondo. Se verifico si la suma de los valores de las masas retenidas en cada tamiz y el recipiente de fondo no supere el 1 % de la masa total tamizada. Los valores del tamaño de grano ffueron obtenidas siguiendo los

lineamientos establecidos por las Normas Técnicas Colombiana para agregado grueso (NTC 77).

**Tabla 11 orden de tamices para material granular grueso.**

Tamiz	
Pulg.	mm
1 1/2	38,1
1	25,0
3/4	19,0
1/2	12,5
3/8	9,5
No.4	4,750
FONDO	

### **3.1.2.1.3. DETERMINACION DEL TAMAÑO MAXIMO, LA TEXTURA Y LA FORMA DE LOS AGREGADOS.**

Una vez realizado el tamizado del agregado grueso se determinó su tamaño máximo, tomando los granos retenidos en el tamiz con máximo tamaño de poro. Para determinar la textura y la forma se palpan y observan directamente los agregados de una muestra aleatoria de los agregados retenidos en los diferentes tamices y por esta simple inspección se emite un concepto, estos protocolos están contemplados en las Normas ACI 211(anexo8).

### **3.1.2.1.4. DETERMINACION DE LA ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AIRE.**

Para estimar el contenido de aire se aplicó la Normas ACI 211, la cual recomienda que para tamaños nominales de 38 mm (1. 5 Pulgadas) el contenido de aire atrapado es del 1 % del volumen total del elemento a construir (Un bloque, una viga, un piso, una carretera, entre otros), Sin embargo para efectos prácticos la norma recomienda que se asuma este valor como cero. En este trabajo se estimó el valor contenido de aire como cero.

### **3.1.3. DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS DE LOS MATERIALES GRANULARES.**

Las masas unitarias se determinaron aplicando dos procesos que están reglamentados por las Normas Técnicas Colombianas (NTC 92) (anexo9). La primera para determinar la masa unitaria compacta para el agregado fino y el agregado grueso y la segunda para determinar la masa unitaria suelta tanto para el agregado fino como para el grueso.

#### **3.1.3.1. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA COMPACTA.**

Para determinar los valores de las masas unitarias compactas de los materiales, se empleó un recipiente de volumen y masa conocidos, el procedimiento se realiza en cinco etapas: en la primera etapa se divide el material granular en tres porciones iguales; en la segunda etapa se vierte la primera porción del material granular en el recipiente cilíndrico, se le aplica 25 puyazos o golpes con una varilla lisa de 5/8" de 60 cm de longitud, con punta redondeada en el área expuesta por el material granular y adicionando golpes por la parte lateral externa del recipiente con el fin de mejorar el orden o acomodamiento entre las partículas que componen el agregado, de esta manera se forma la primera capa compacta del árido; en la tercera etapa se vierte la segunda porción del material granular sobre la primera capa formada en recipiente cilíndrico, luego se procede a compactarlo de la misma manera que en la etapa anterior; en la cuarta etapa se vierte la tercera porción del material granular sobre la segunda capa formada en el recipiente cilíndrico y después se procede a compactar igual como se hizo en la primera y segunda etapa; y por último en la quinta etapa se procede a enrasar el material granular.

El proceso descrito anteriormente se le aplica al material granular fino y al material granular grueso, tal como lo muestra la imagen 10. El material granular compactado en el recipiente cilíndrico se lleva a la báscula Metter – Toledo Viper SW y se obtienen de esta forma las masas de los agregados. El procedimiento anterior se realiza por triplicado y se calcula una la masa promedio y posteriormente mediante relaciones de masas y volumen se obtienen las densidades de estos materiales.

**Imagen 10. Compactación del material en los cilindros para determinar la densidad del material compacto**



### **3.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS MASAS UNITARIAS SUELTAS.**

Para determinar la densidad del material suelto, se colocó el material grueso o fino, en un recipiente cilíndrico de volumen y masa conocida, volumen  $0.00292 \text{ m}^3$  y masa  $1429 \text{ g}$ , posteriormente se enrasa el material sin compactarse, y después se lleva a una báscula previamente calibrada con el fin de determinar su masa. Este proceso se realiza por triplicado y a los valores obtenidos de las masas se promedian. Conocido, el volumen y la masa promedio, se relacionó esta información y se obtuvo la masa unitaria de los materiales sueltos tanto para grano grueso como para materiales finos.

### **3.1.4. DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES DE LOS CEMENTOS.**

Para determinar las densidades de los cementantes se aplicó la Norma Técnica Colombiana (NTC 221) (anexo 10) la cual es específica para determinar la densidad de los cementos Portland, en el caso de los cementantes utilizados en la fabricación del concreto traslucido, se utilizó un cementante sintetizado en el laboratorio de Catálisis y Materiales de la Universidad del Atlántico y facilitado para el desarrollo de esta investigación.

#### 3.1.4.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTANTE PARA CONCRETO TRASLUCIDO.

Al material cementante se le determino la densidad utilizando un recipiente cuyo volumen es de 24.93 ml, denominado picnómetro, al cual se previamente se le determino la masa vacío, luego se llenó de la sustancia cementante, que por razones de la presente investigación se le denominara **Cts**, y se procede a determinar la masa de este conjunto en una balanza analítica marca Lab – Kits modelo WB2204B serial WB12061921 con 0.001 de precisión, este procedimiento se realizó 6 veces, luego se hayo un promedio entre estas masas, descontando el peso del picnómetro vacío, el resultado se relaciona con el volumen conocido y así se obtiene la densidad buscada. La imagen 11, muestra el proceso de determinación de la masa de la sustancia cementante; **Cts**.

**Imagen 11. Determinación de la masa de la sustancia cementante del concreto traslucido.**



#### 3.1.4.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTANTE PARA CONCRETO TRADICIONAL.

Para determinar la densidad del cemento Portland seguimos el protocolo encontrado en la Norma (NTC 221): Se tomó un Frasco de De Le Chatelier de 250 ml limpio y vacío, el cual se llenó hasta el punto cero de su contenido con kerosene libres de agua o tetracloruro de carbono. El kerosene se vertió por el centro del recipiente evitando tocar las paredes en especial en la parte superior del cuello del Frasco y luego se sumergió en agua, contenida en un recipiente de mayor capacidad que el Frasco, ver la imagen 12, con el fin de mantener el equilibrio térmico (la temperatura del kerosene no debe variar en más de 0.2°C), se tapó el Frasco De Le Chatelier y se tomó una primera lectura del volumen, a la cual se le denomino ( $L_0$ ).

**Imagen 12. Determinación del volumen del cemento Portland gris en un Frasco De Le Chatelier.**



Se tomó una masa de 64 g de cemento Portland gris ( $m_C$ ) y se le agregó en pequeñas porciones al kerosene contenido en el Frasco De Le Chatelier, a la misma temperatura del líquido y teniendo cuidado de no derramar ni untar las paredes del Frasco por encima del nivel del keroseno. Se le pone la tapa al Frasco y se agita lentamente sobre su base sólida, describiendo círculos concéntricos hasta que ya no salió burbujas de aire, se deja reposar el sistema kerosene-cemento. Luego se tomó la segunda lectura, tanto para el volumen ( $L_F$ ) como para la masa  $m_F$ . Teniendo el volumen inicial, el volumen final y la masa de la muestra se procede a determinar la densidad del cemento ( $D_C$ ) aplicando la siguiente formula.

**Densidad del cemento**       $D_c = LF - \frac{L_o}{mc}$

### **3.1.5. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LOS CONCRETOS:**

Para la selección del asentamiento se aplicó el criterio recomendado por Sánchez de Guzmán (2001)<sup>[76]</sup> el cual recomienda tener en cuenta los criterios de: tipo de construcción, sistema de colocación y compactación del concreto, para este caso en particular se asumió que los concretos se aplicarían en la construcción de pisos y muros y los sistemas de colocación y compactación son manuales.

### **3.1.6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO:**

Para la estimación del contenido de agua de mezclado se aplicó la norma ACI 211, la cual recomienda tener en cuenta el asentamiento, tamaño máximo del agregado, la forma y textura del mismo

### **3.1.7. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS CONCRETO:**

La resistencia de diseño  $f'_{cr}$  se estipularon según el modelo estadístico expresado en el numeral 2.1.2.2. Concerniente al Calculo Estadístico del aparte denominado Marco Teórico en este documento. En este trabajo de investigación se estipularon dos resistencias para concretos 3000 y 3500 Psi (21 y 24.5 MPa).

### **3.1.8. RELACIÓN AGUA CEMENTO DE LOS CONCRETOS**

Como la relación agua cemento (a/c) es una de las más importantes de las tecnologías del concreto, se determinó aplicando la Norma ACI 211 y el código NSR 10, la cual recomienda que la menor relación a/c para obtener una hidratación completa del cemento se considere igual a 0,42. Es decir por cada kilogramo de cemento se debe aplicar 420 gramos de agua, para este esta investigación se empleó un valor mayor teniendo el tema de la trabajabilidad

### **3.1.9. CONTENIDO DE CEMENTO DE LOS CONCRETOS:**

Una vez estimación del contenido de agua de mezclado y la relación agua cemento, se pudo calcular la cantidad de cemento para obtener un  $m^3$  de concreto.

### **3.1.10. PROPORCIÓN DE LOS AGREGADOS EN LOS CONCRETOS.**

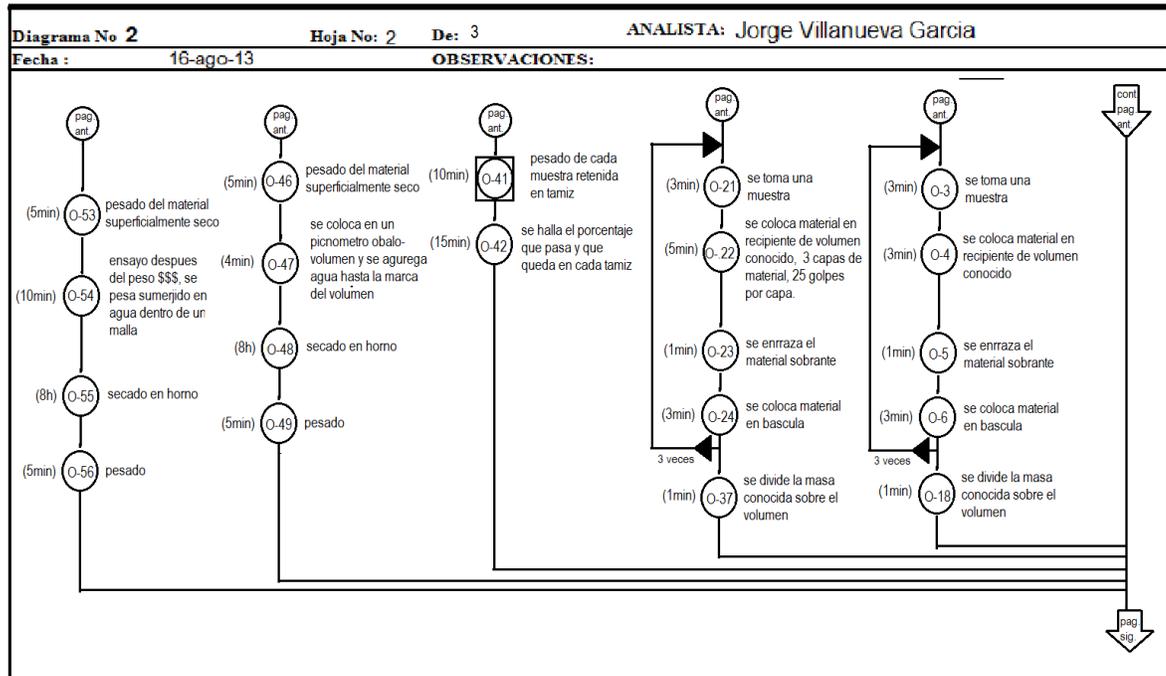
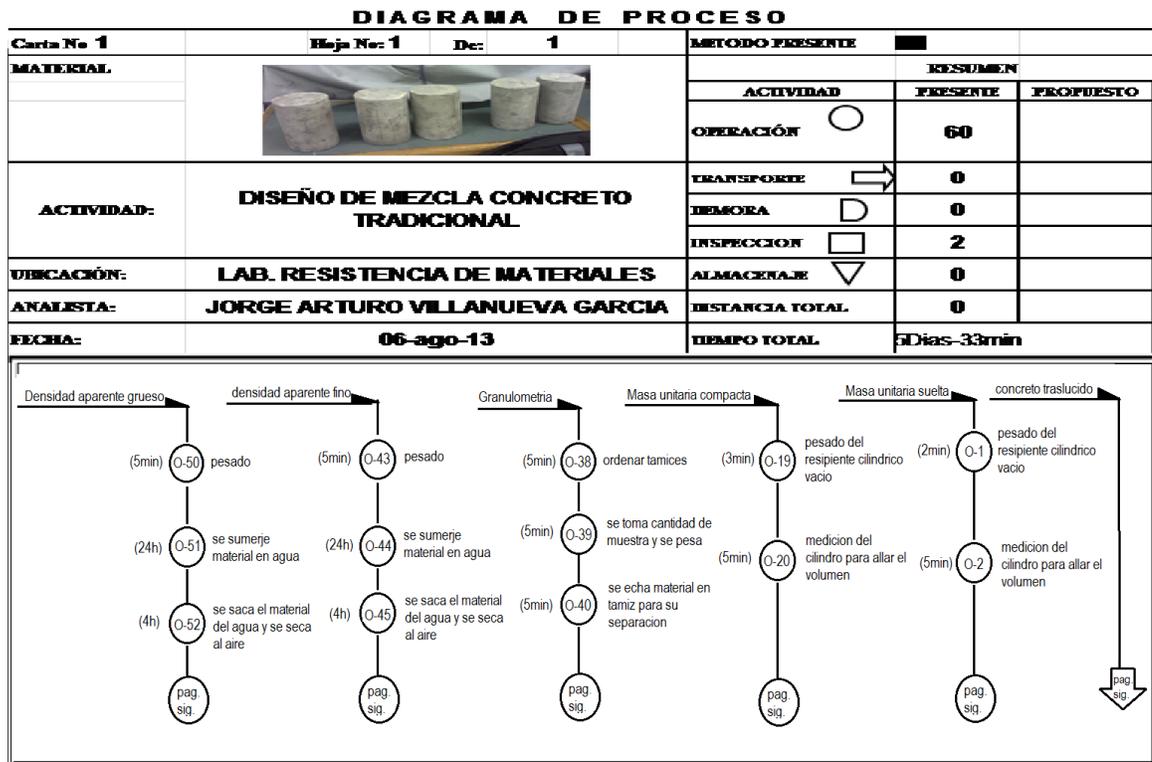
Para determinar las proporciones de los agregados en los concretos se aplicó Norma ACI 211.1, por lo que se determinó en primera instancia el volumen seco y compactado (b) de agregado grueso por volumen unitario de concreto ( $b_0$ ). Por lo tanto la proporción del agregado =  $b/b_0$

### 3.1.11. EL DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS.

Una vez determinados los valores de las propiedades como densidad aparente, densidad nominal, porcentaje de absorción, masa unitarias compacta, masa unitaria suelta, humedad, textura, forma, tamaño máximo, granulometría, módulo de finura, selección de asentamiento, estimación de contenido de agua de mezclado, determinación de la resistencia del concreto, relación agua cemento, contenido de cemento y proporción de los agregados, se procedió a diseñar las mezcla de los diferentes materiales, tanto para concreto translucido y concreto tradicional, se aplicando la Normas ACI 211 mediante una tabla elaborada en una hoja de cálculo electrónico como lo es la **Microsoft Excel 2010**.

Las siguientes figuras 5 y 6 se muestran los diagramas de procesos, diseños de mezclas de concretos tradicionales y concretos translucidos, seguidos en este trabajo de investigación para el diseño de concretos tradicionales y concretos translucidos.

Figura 5. Diagrama de proceso del diseño de mezclas del concreto tradicional



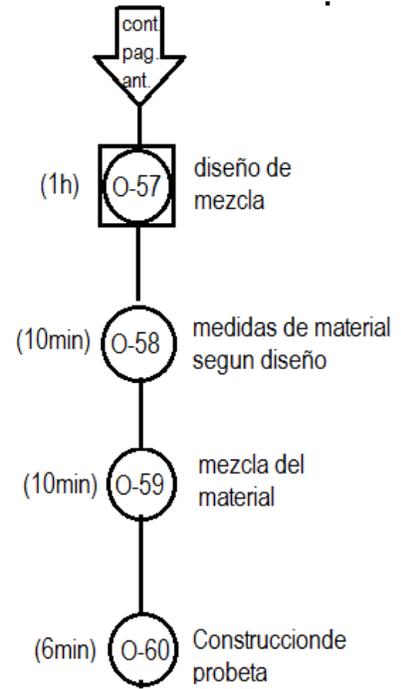
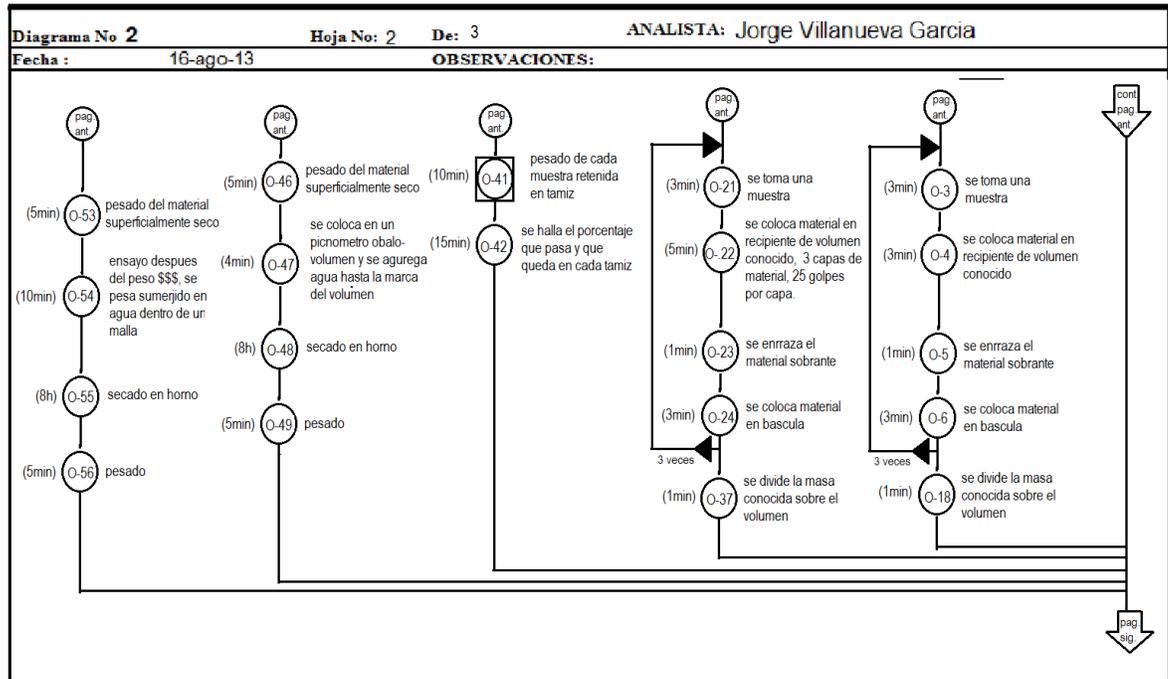
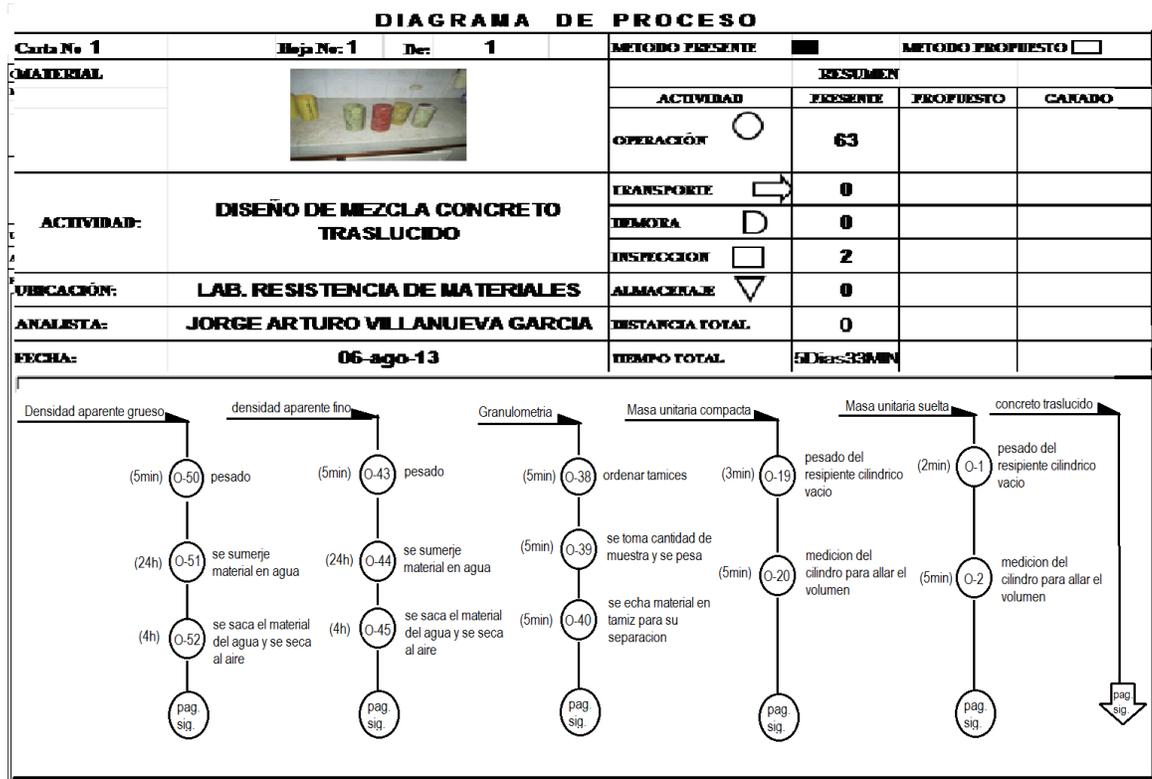
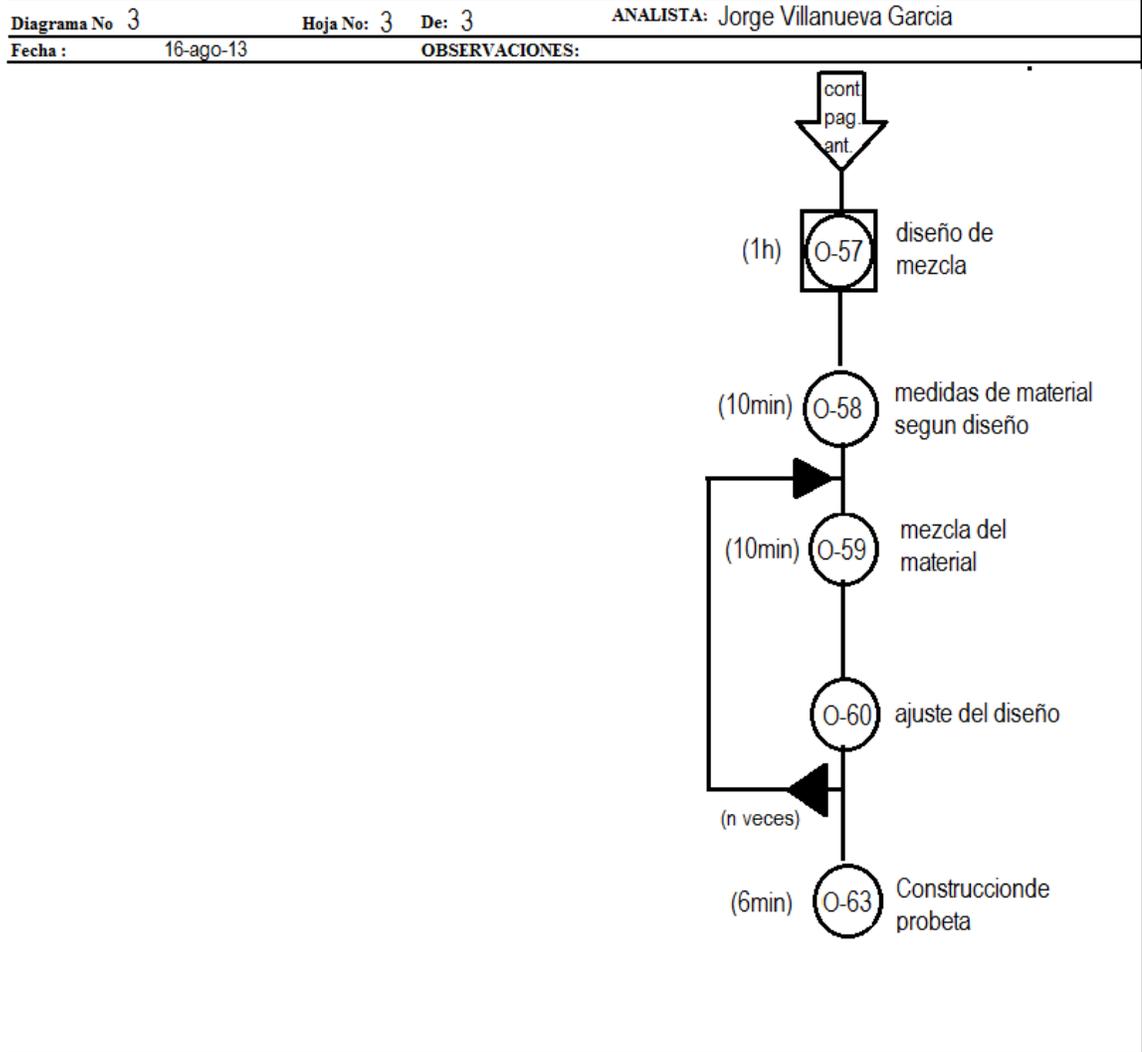


Figura 6. Diagrama de proceso del diseño de mezclas del concreto traslucido.





### 3.2 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS.

Una vez aplicado el método contemplado en la Norma ACI 211, para diseños de mezcla, y obtenidas las proporciones de materiales para los concretos convencionales y traslucidos, se procedió a fabricar los especímenes de los concretos: cilindros, viguetas y bloque.

El diseño de mezcla arroja información para la producción de un m<sup>3</sup> de concreto de la resistencia esperada. El orden de esa información es el siguiente: masa de cemento, masa de agregado fino y masa de agregado grueso. También se puede obtener la relación en volumen debido a que se conoce las densidades aparente suelta.

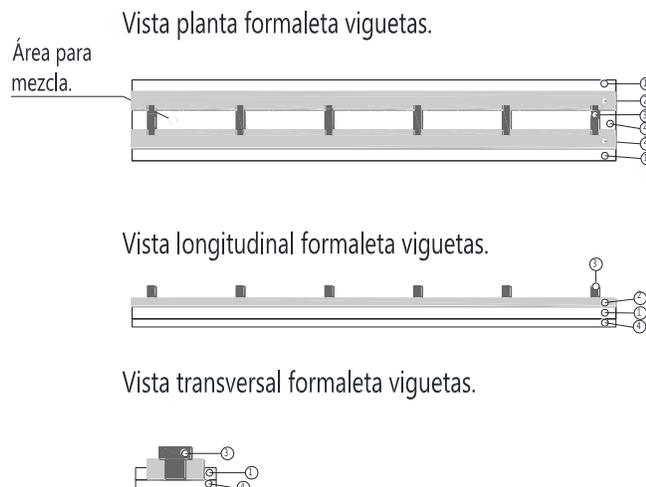
### 3.2.1 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL CONCRETOS TRADICIONAL.

Para la fabricación de los especímenes (cilindros, viguetas y bloques) del concreto tradicional se procedió de la siguiente manera: Primero se establecieron las edades de rotura o comprobación de la resistencia de la siguiente manera; primera edad 7 días y la segunda edad 28 días. Se diseñaron dos mezclas de concreto debido a que se tomaron dos valores de resistencia a la compresión, para el cumplimiento de estas etapas se aplicó la Normas NSR 10 Título C.

Luego se procedió a la toma de especímenes, proceso que se dividió en: toma de cilindros, toma de viguetas y toma de bloque. La toma de cilindros consistió en tomar 21 moldes cilíndricos de PVC, de 3 pulgadas de diámetro y de 6 pulgadas de largo, en los cuales se funde la masa de concreto previamente elaborada por cada resistencia, edad estipulada y tipo de concreto. En el proceso de fundición de los cilindros se tomaron dos especímenes y se le agrego anilina roja y amarilla en 2 % de la masa del cementante. Los cilindros fundidos se referenciaron como C1, C2, C3.....C10 por cada resistencia y edad de los concretos. En la toma de cilindro se emplearon las Normas NTC 220 (anexo 11) y 111(anexo 12).

Para la toma de viguetas, se procedió inicialmente con su diseño (imagen 13 y 14), y luego se construyeron moldes de madera tipo tren con 5 divisiones rectangulares, cada división tienen 5 cm de ancho, 5 cm de espesor y 20 cm de largo, se fabricaron tres trenes de 5 divisiones, en los cuales se funde la masa de concreto previamente elaborada por cada resistencia, edad estipulada y tipo de concreto, se estipuló obtener 21 viguetas. Las viguetas fundidas se referenciaron como V1, V2, V3.....V10 por cada resistencia y edad de los concretos. En la toma de viguetas se empleó la Norma ASTM 293(anexo 13).

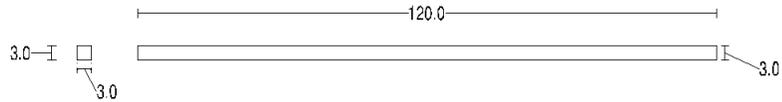
Imagen 13, Formaleta para fundida de viguetas para ser ensayadas a la flexión.



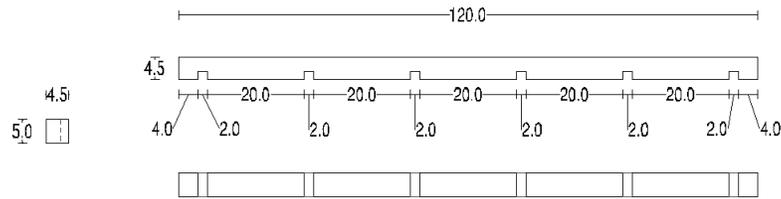
## Imagen 14. Despiece de formaleta de madera para viguetas

Despiece

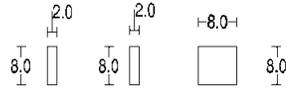
Pieza 1



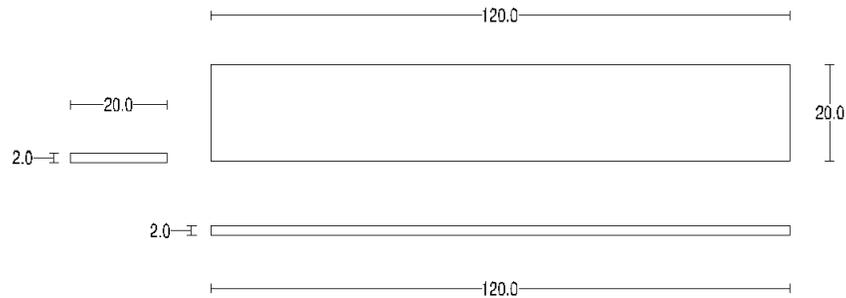
Pieza 2 (2 unidades).



Pieza 3 (6 unidades).



Pieza 4 .Forrado en fórmica.



Después se tomó la medida del asentamiento de la mezcla para corroborar con el valor del asentamiento establecido en el diseño de mezcla, una vez realizada esta operación, se vertió el material mezclado en los cilindros, a los cuales previamente se aplicó en su interior vaselina industrial para su desmoldamiento o desencofre del concreto. Acto seguido se tomaron 20 cilindros de un mismo concreto, a los que se les determinó el tiempo de fraguado y posteriormente se desencofraron los especímenes y se curaron sumergiéndolos en agua por el tiempo correspondiente a su edad de prueba, cumplida esta edad se le aplicaron los ensayos de resistencias a la compresión. Ver imagen 15, en donde se aprecia el procedimiento de fabricación y fundida de los componentes de los concretos tradicionales para los especímenes cilindros, viguetas y bloques.

Imagen 15 Proceso de fabricación y fundida de especímenes (A), cilindros (B), viguetas (C) y bloques (D) de concreto convencional para pruebas de compresión y flexión.

(A)



B.



C



### 3.2.2 FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL CONCRETOS TRASLUCIDO.

Para la fabricación de los especímenes de los concretos traslucido se siguió el mismo protocolo empleado para concretos tradicionales, pero se le introdujo las siguientes variantes: se diseñó y se construyó una formaleta en madera, la cual presenta cuatro divisiones, cada una con las siguientes dimensiones 10 cm de ancho, 10 cm de largo y 5 cm de espesor (ver imagen 16, 17,18, 19 y 20). Todo lo anterior debido a que estas dimensiones y forma permiten medir la traslucidez. En estas formaletas se vertió y compacto la mezcla de los componentes del concreto, a los cuales se habían determinado su masa o volumen de acuerdo a los valores arrojados por el diseño de mezcla; para verificar si la adición de otros materiales permiten aumentar traslucidez de estos concretos se aplicó como aditivo flúor en las siguientes proporciones 0.5, 1, 1.5 y 2 en algunos especímenes tipos bloques; además a estos concretos se les curó a la intemperie.

Imagen 16 Esquema de la formaleta de bloques

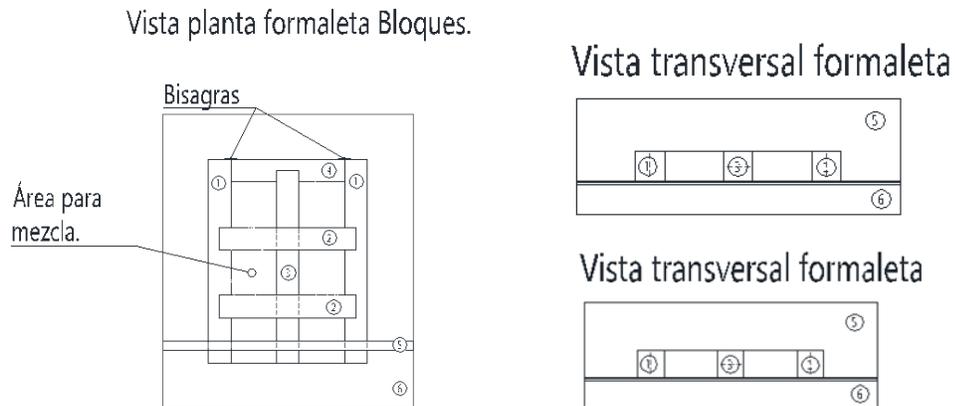
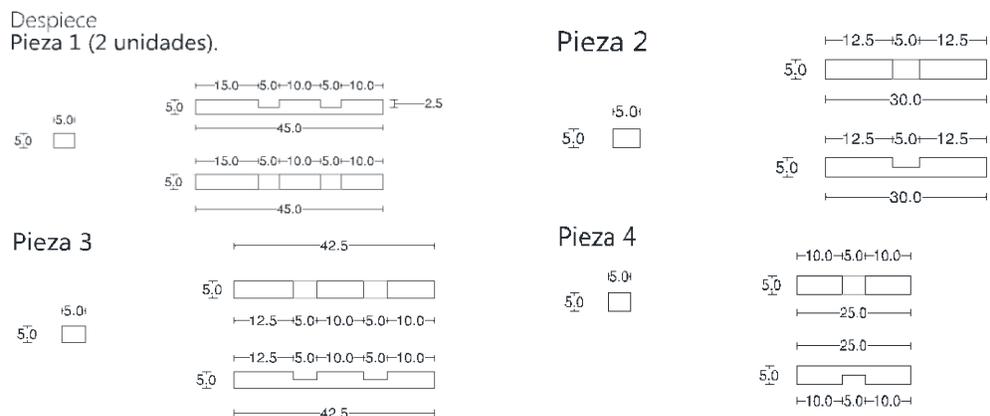
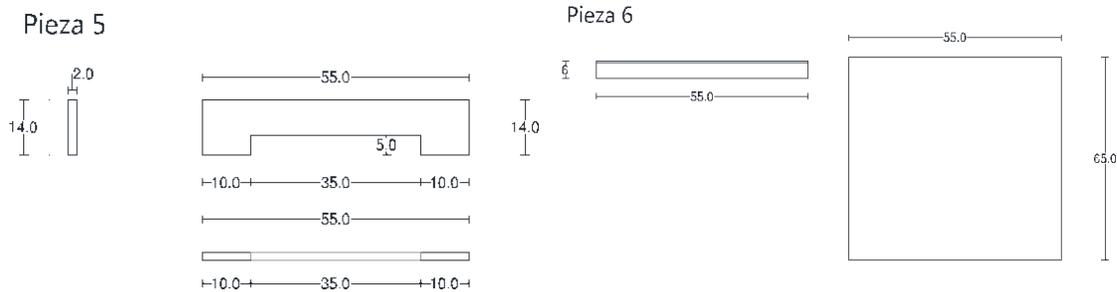


Imagen 17, despiece de formaleta de madera para bloques





**Imagen 18. Proceso de fabricación y fundida de cilindros de concreto traslucido para pruebas de compresión**



**Imagen 19. Proceso de fabricación y fundida de viguetas de concreto traslucido para pruebas de flexión.**



**Imagen 20, Proceso de fabricación y fundida de bloques de concreto traslucido para pruebas de traslucidez.**

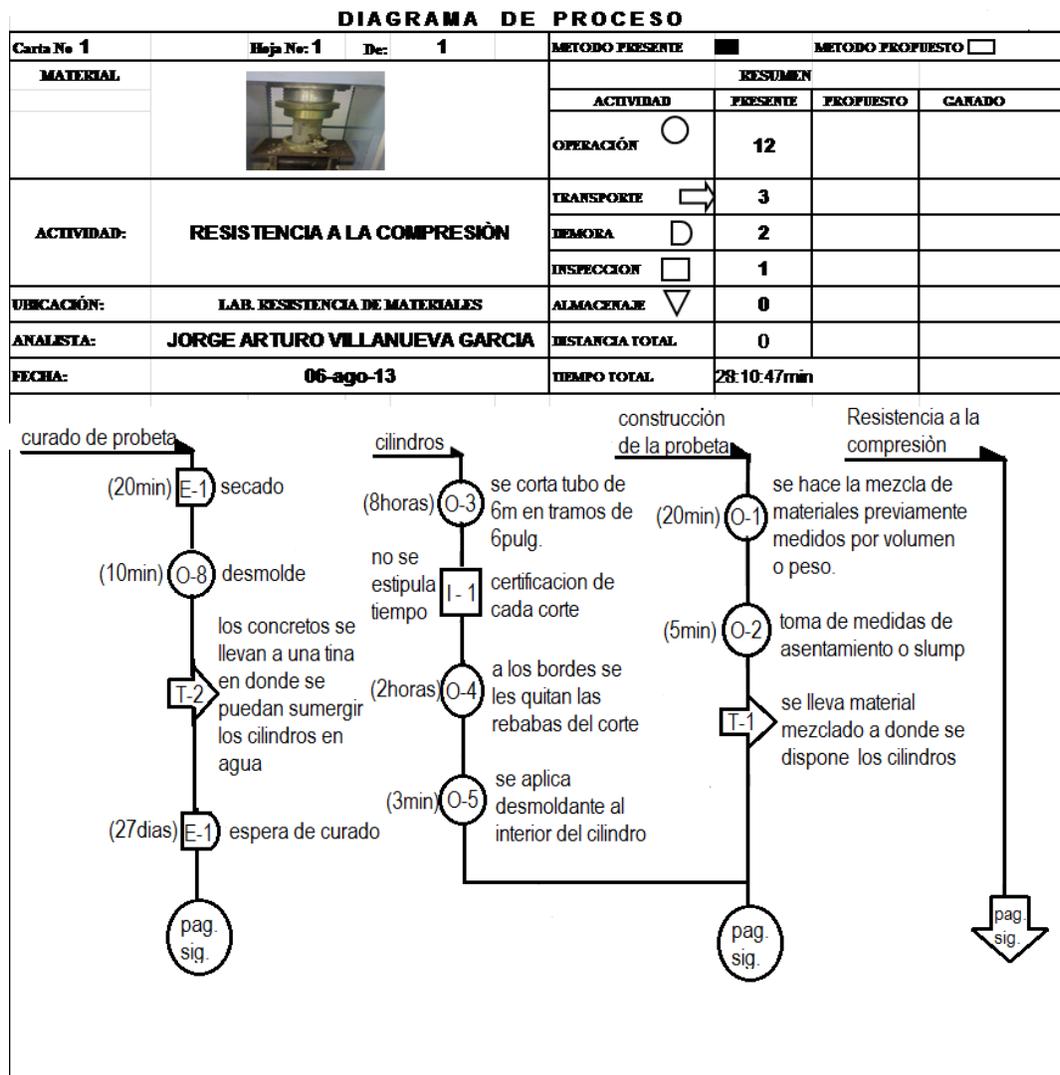


### 3.3 DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

La determinación de las propiedades se llevó a cabo haciendo la siguiente discriminación: las propiedades físicas tenidas en cuenta para este trabajo fueron, la traslucidez el tiempo de fraguado y el tiempo de curado, así mismo las propiedades mecánicas contempladas fueron las siguientes: resistencias a la comprensión, resistencia a la flexión y desgaste por abrasión.

Los siguientes figuras 7 y 8 muestran los diagramas de procesos, seguidos en este trabajo de investigación para determinar la resistencia a la comprensión de los especímenes de concretos tradicionales y concretos traslucidos.

Figura 7. Diagrama de proceso para determinar la resistencia a la comprensión del concreto tradicional.



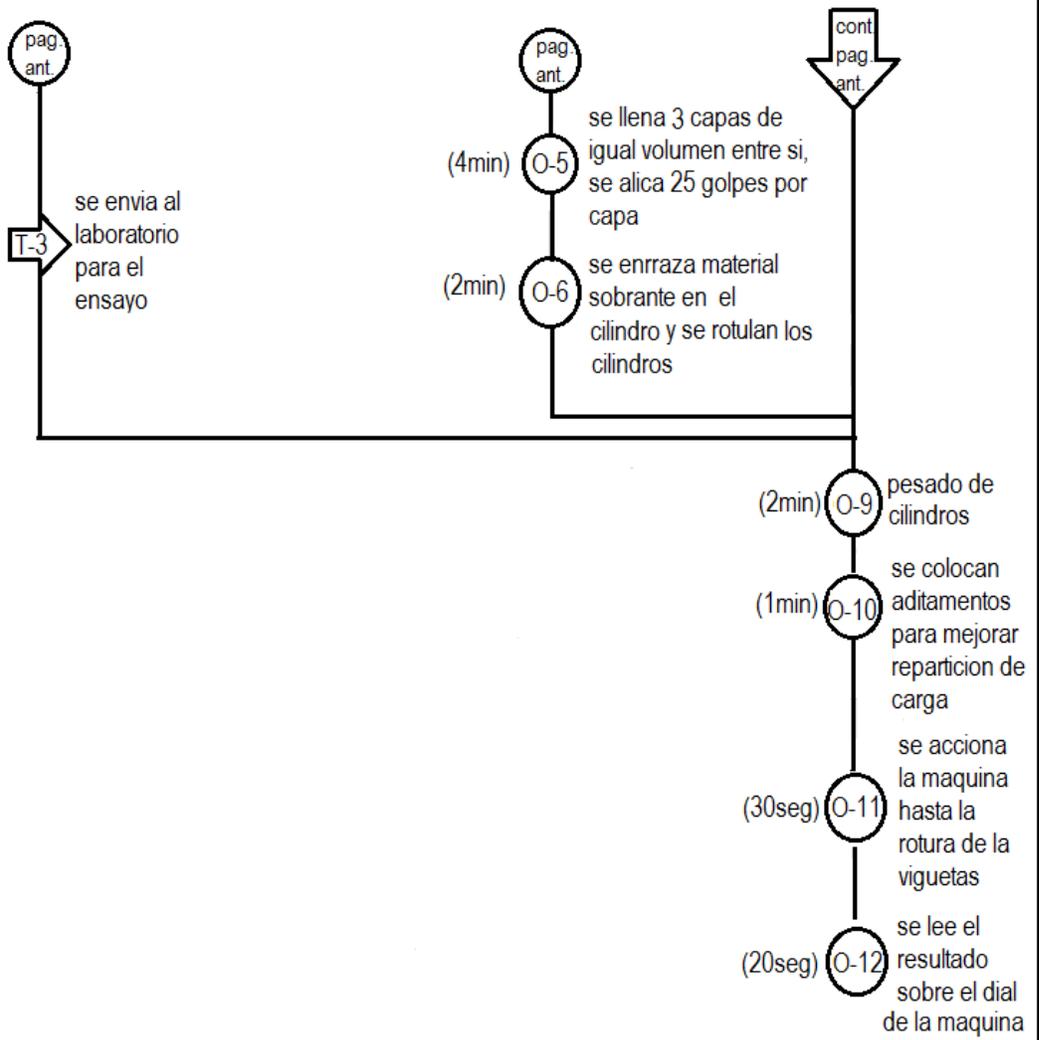
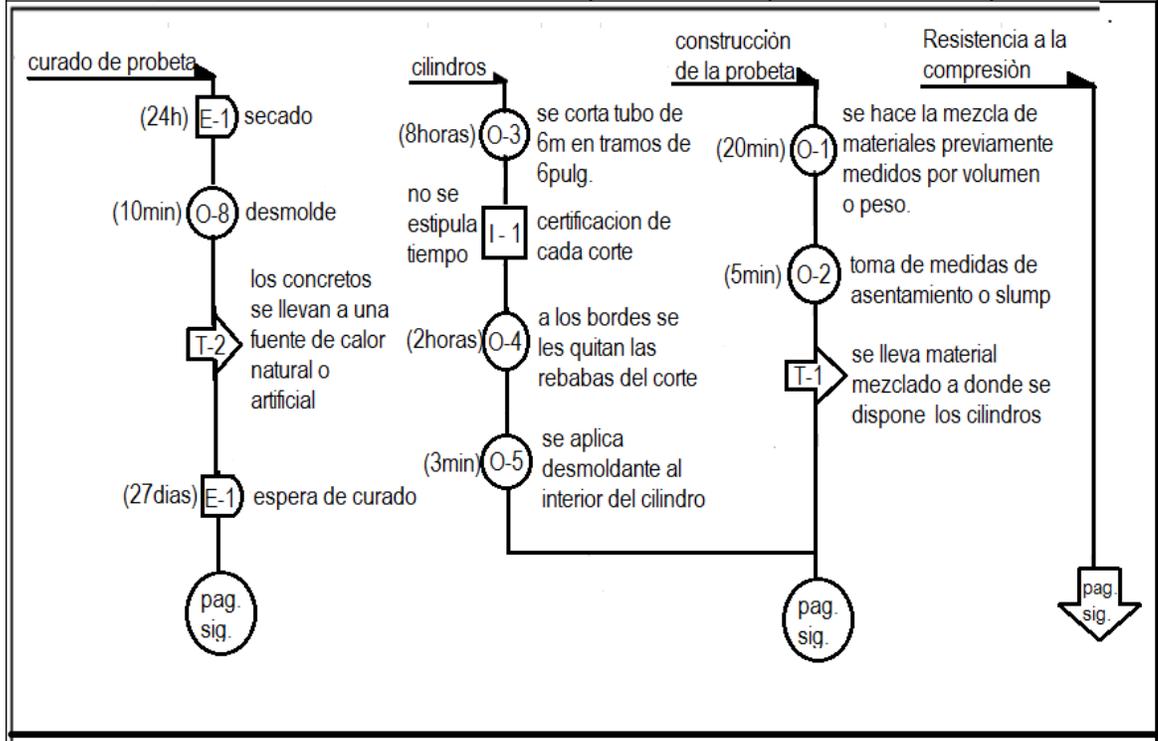
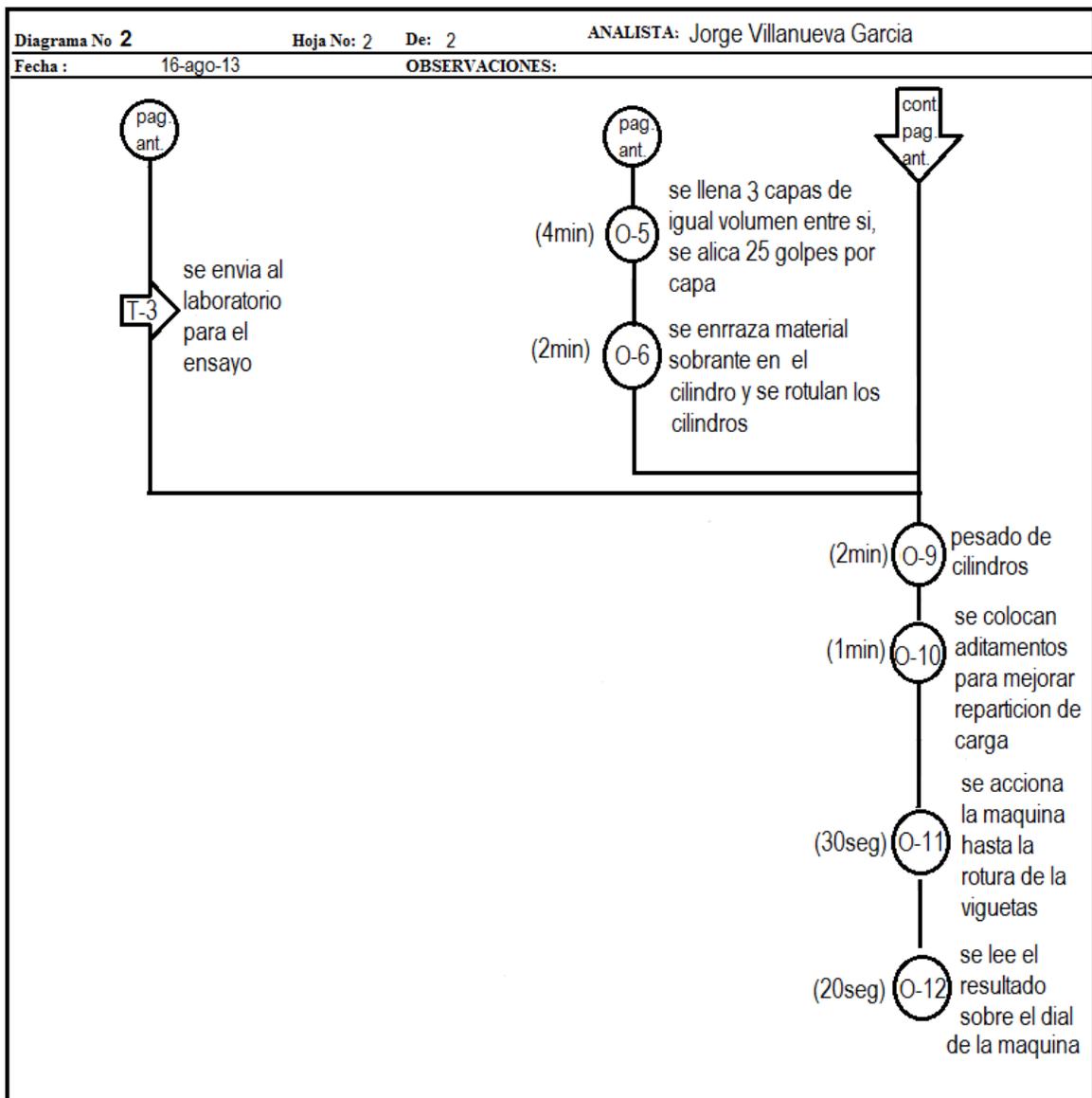


Figura 8. Diagrama de proceso para determinar la resistencia a la compresión del concreto traslucido.

**DIAGRAMA DE PROCESO**

Carta No 1	Hoja No: 1	De: 1	METODO PRESENTE <input checked="" type="checkbox"/>	METODO PROPUESTO <input type="checkbox"/>	
MATERIAL		RESUMEN			
		ACTIVIDAD	PRESENTE	PROPUESTO	GANADO
		OPERACIÓN ○	12		
ACTIVIDAD:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO TRASLUCIDO	TRANSPORTE ⇨	3		
		DEMORA D	2		
		INSPECCION □	1		
UBICACIÓN:	LAB. RESISTENCIA DE MATERIALES	ALMACENAJE ▽	0		
ANALISTA:	JORGE ARTURO VILLANUEVA GARCIA	INSTANCIA TOTAL	0		
FECHA:	06-ago-13	TIEMPO TOTAL	28:10:47min		





### 3.3.1. DETERMINACIÓN DE LA TRASLUCIDEZ A LOS CONCRETOS.

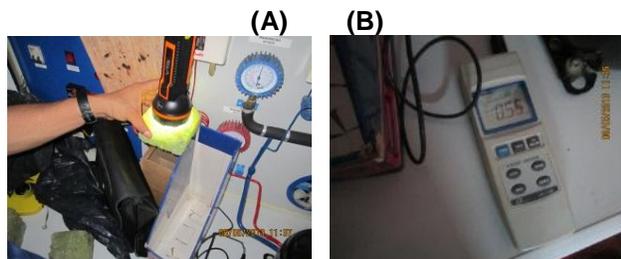
Para la determinación de la traslucidez de los concretos se emplearon dos técnicas, una cualitativa y otra cuantitativa. La prueba cualitativa presenta dos variantes, la prueba del haz de luz dirigido y la prueba de exposición abierta a la luz solar simulando la fachada de una edificación. La prueba del haz de luz dirigido se llevó a cabo utilizando una fuente lumínica consistente en una lámpara de mano recargable, la cual se enfocaba muy cerca del espécimen y se constataba si dejaba pasar la luz, en el caso de los especímenes tipo cilindro, se exponen

vertical y horizontal mente al haz de luz, la imagen 21 muestra un ejemplo de la prueba de haz de luz dirigido. La prueba cuantitativa se realizó dependiendo de las características de la toma de la información para determinar traslucidez de los especímenes de los diferentes concretos expuesto a la luz solar en los siguientes sitio: laboratorio de eléctrica (fuentes y motores) y pasillo del segundo piso que une los bloques uno y tres de la Universidad de la costa (ver imagen 22), se utilizó el luxómetro digital (lutron ref. Lx 1180) suministrado por la Universidad de la Costa CUC) y para determinar la traslucidez en virtud a espacios cerrados (puestos de trabajo), se aplicó la prueba en el pasillo del sexto piso del bloque C y laboratorio de Catálisis y Materiales de la Universidad del Atlántico (ver imagen 23), se utilizó el equipo Extrech instruments Easy view TM 30 light meter, serial N° 120910923 suministrado por la Universidad del Atlántico (U A).

**Imagen 21, Prueba cualitativa verificación de la traslucidez de los concretos (UA).**



**Imagen 22, Prueba cuantitativa verificación de la traslucidez de los concretos Laboratorios CUC (A) y Luxómetro (B)**



**Imagen 23, Prueba cuantitativa verificación de la traslucidez de los concretos Laboratorios UA**



### **3.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS.**

Para determinar el tiempo de fraguado se aplicó la Normas técnicas colombiana (NTC 110) (anexo 14). Los equipos empleados para tal fin fueron: Balanza analítica de 100 g capacidad y sensibilidad de  $\pm 1.0$  g, probetas graduadas de vidrio con una capacidad de 100 a 150 ml y se utilizó el aparato de Vicat. El procedimiento sigue de la siguiente manera: se tomó la temperatura ambiente del laboratorio, luego sobre una superficie no absorbente se colocó una muestra de 500g de cemento en forma de cono invertido y se le hizo un orificio en el centro, en el cual vertió una cantidad de agua destilada y luego, con la ayuda de un palustre se llenó el orificio con el cemento seco que lo rodeaba exteriormente, el tiempo empleando en esta operación fue de 30 s, se continuo mezclando durante 90 s hasta obtener una pasta homogénea. Se moldeo la pasta de cemento hidratado hasta darle una forma esférica y se pasó 6 veces de una mano a otra a una distancia aproximada de 15 cm, y luego se llenó con esta pasta un molde troncocónico con diámetro mayor de 70 mm y un diámetro menor de 60 mm y altura de 40 mm por su diámetro mayor y se le colocó una placa de vidrio y se voltio todo el conjunto, la pasta en la parte inferior del molde troncocónico expuesta se enrasa con un palustre y se lleva al aparato de Vicat (ver imagen 24), se introduce la ajuga en la pasta repitiendo este procedimiento en diferentes puntos de la superficie expuesta hasta que no se posible que la aguja penetre la pasta.

**Imagen 24 Consistencia Normal Aparato de Vicat.**



### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.**

Los especímenes en forma de cilindros ya curados se llevan al laboratorio y se les determina sus masas y luego se le determina la resistencia a la compresión utilizando una máquina de compresión o prensa de compresión eléctrica Italia Dial modelo CT – 1302 KN (ver imagen 25 y 26), como estos especímenes no tienen las medidas convencionales (6 x 12 pulgadas), se hace necesario colocar aditamentos que permitan que las cargas aplicadas por la maquina sean uniforme. Finalmente se enciende la máquina y se espera que el espécimen falle por compresión.

**Imagen 25 Proceso de rotura cilindros de concretos convencional para pruebas de compresión, cilindros en espera de rotura, en la maquina universal y su falla típica.**



**Imagen 26** Proceso de rotura cilindros de concretos traslucidos para pruebas de resistencias a la compresión,



### **3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.**

Los especímenes en forma de viguetas ya curados se llevan al laboratorio y se les determina sus masas y luego se le determina la resistencia a la flexión utilizando una máquina de compresión o prensa de compresión eléctrica Italia Dial modelo CT – 1302 KN (ver imagen 27 y 28), aplicando para ello el método de los tres apoyos, que consiste en colocar la viguetas rodeada de tres varillas de acero de media pulgada dispuestas a manera de triangulo cuyo bases están formadas por dos varilla a una distancia una de la otra de 12 cm y a los extremos bajo la base de la vigueta y la tercera varilla se coloca centrada sobre la vigueta. Finalmente se enciende la máquina y se espera que el espécimen falle por flexión.

**Imagen 27. Proceso de rotura por flexión de viguetas de concretos tradicionales.**

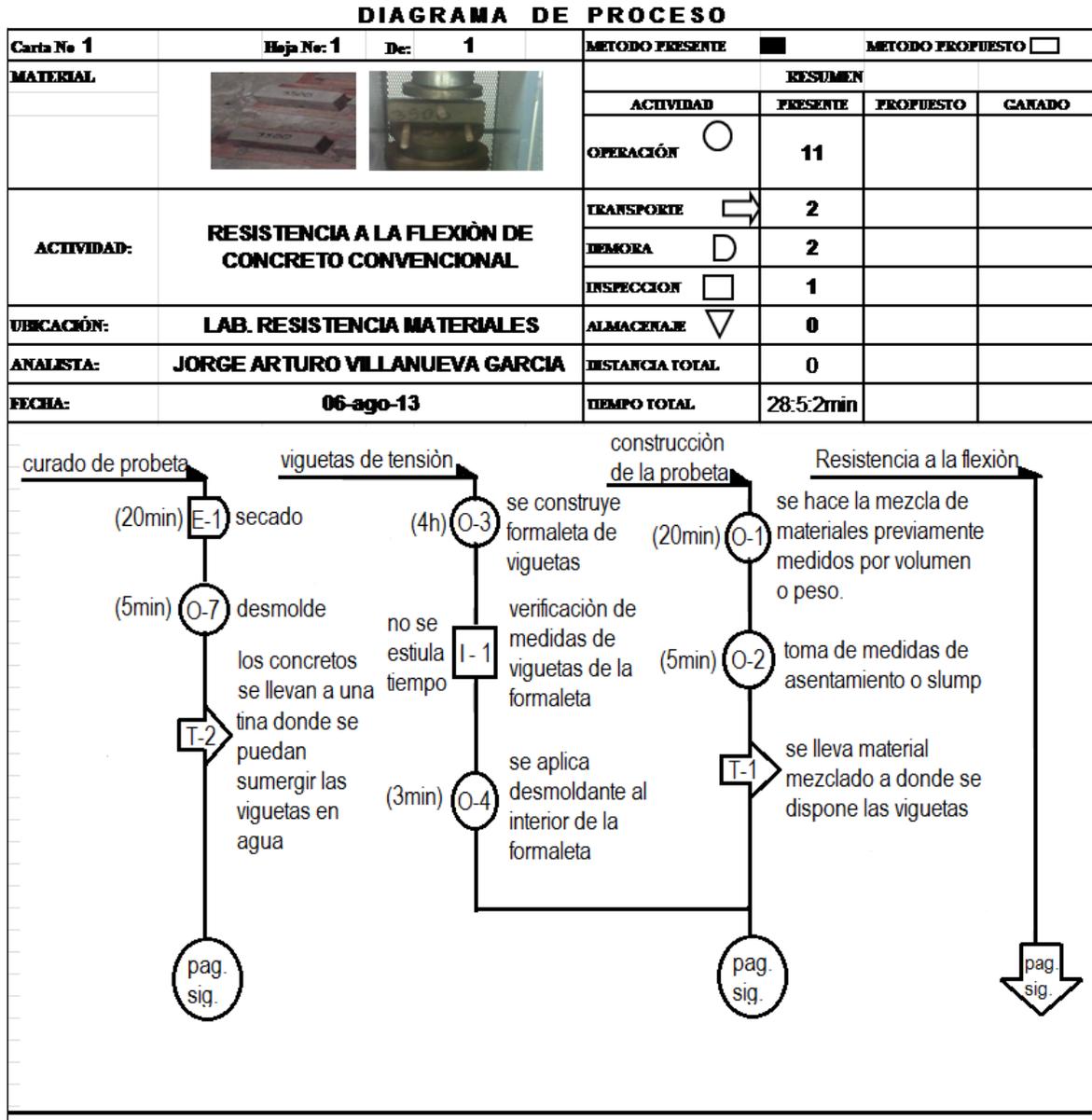


**Imagen 28. Proceso de rotura por flexión de viguetas de concretos traslucidos.**



Los siguientes figuras 9 y 10 muestran los diagramas de procesos, seguidos en este trabajo de investigación para determinar la resistencia a la compresión de los especímenes de concretos tradicionales y concretos traslucidos.

Figura 9. Diagrama de proceso para determinar la resistencia a la flexión del concreto tradicional.



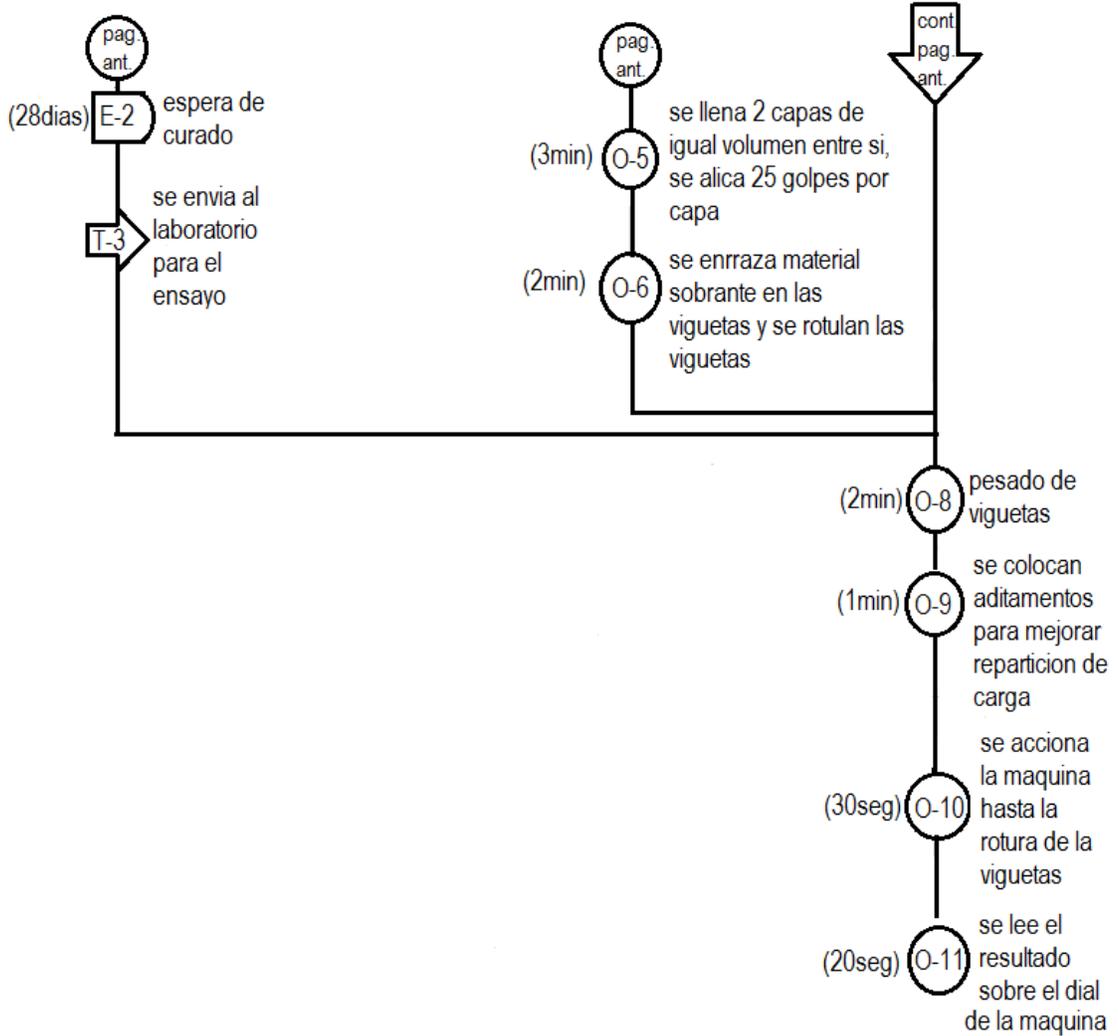
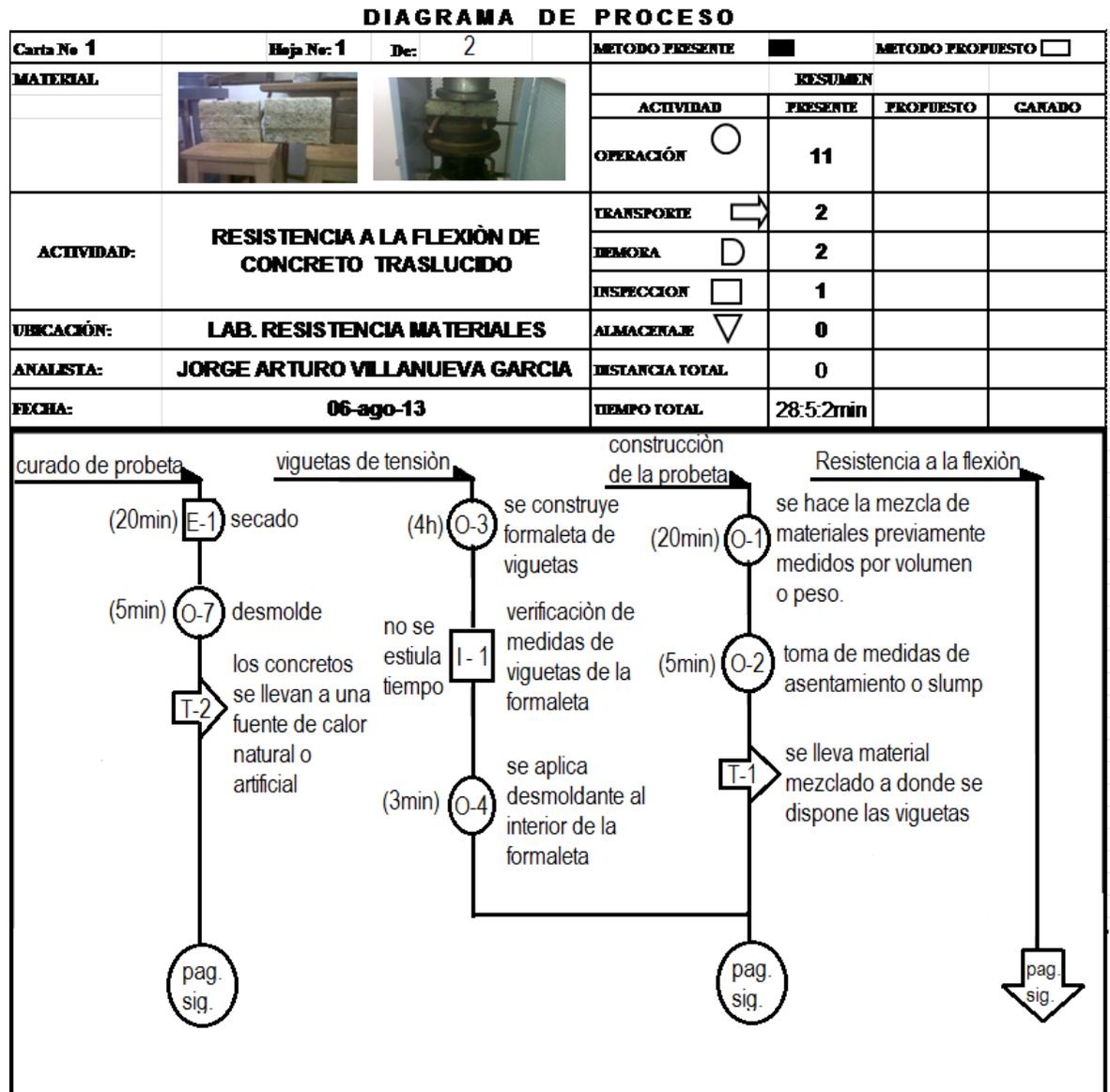
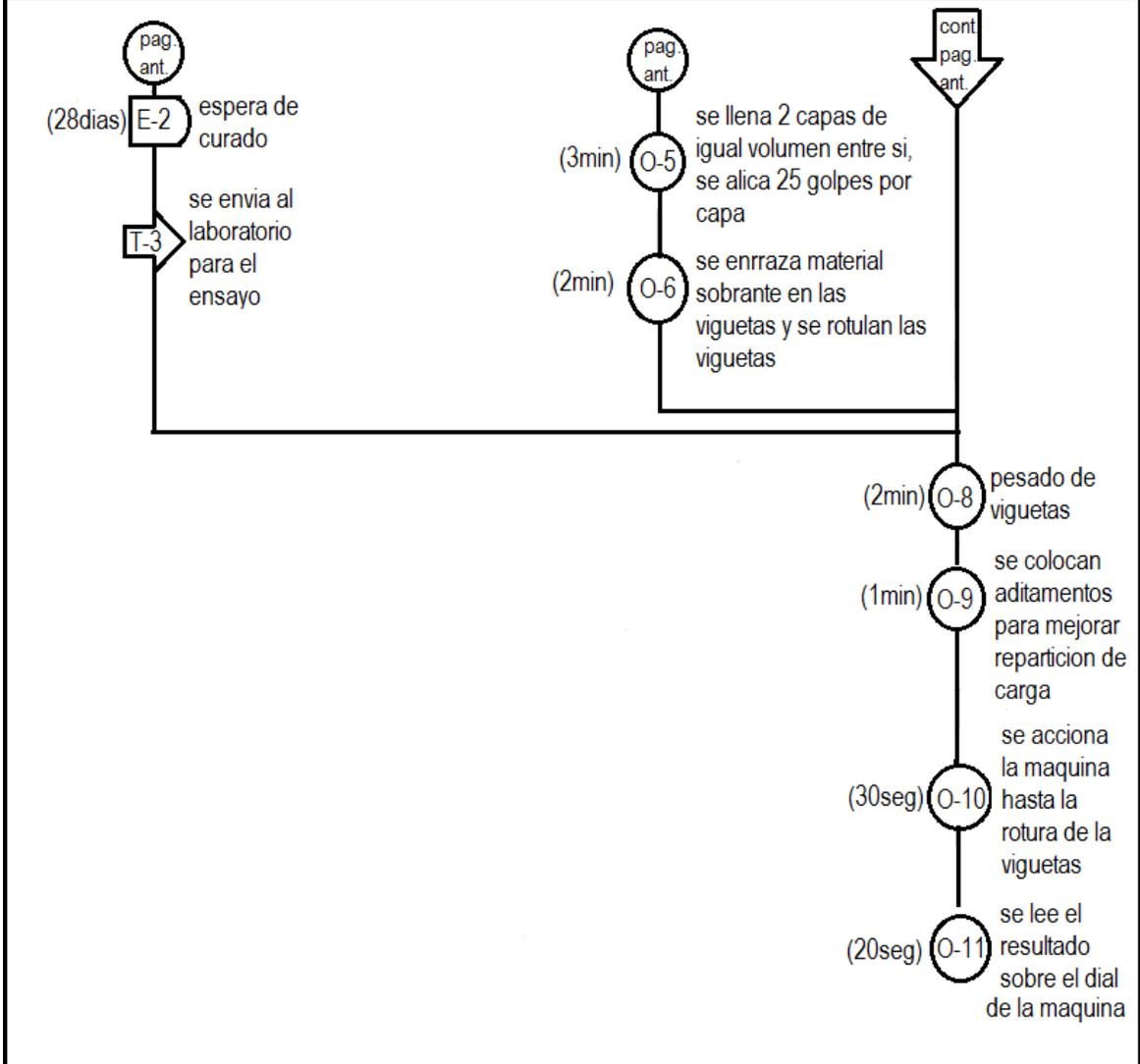


Figura 10. Diagrama de proceso para determinar la resistencia a la flexión del concreto traslucido.





### 3.3.5. DETERMINACIÓN DEL DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Los especímenes en forma de bloque ya curados se llevan al laboratorio y se les determina sus masas y luego se le determina la resistencia al desgaste por ablación utilizando un Abrasímetro -ISO (ver imagen 25), en el cual los especímenes se sometieron a 2100, 6000 y 12000 giros, dependiendo si mostraba o no mostraban círculo de rayado, la existencia de este círculo se comprobaba aplicando un haz de luz con una intensidad lumínica mínima de 300 Luxes. Imagen 29, muestra la máquina de desgaste utilizada en el proceso de rotura por flexión de viguetas de concretos traslucidos.

**Imagen 29. Máquina de desgaste utilizada en el proceso de rotura por fricción de bloques de concretos traslucidos**



## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS.

Los objetivos propuestos en este trabajo de investigación se cumplieron debido a la aplicación de metodologías sistemáticas y acordes a los estándares exigidos por las normas nacionales las cuales están basadas en normas internacionales concernientes al diseño de mezclas, fabricación y caracterización física y mecánicas de concretos. A continuación se describen los resultados obtenidos por la aplicación de las metodologías detalladas en el capítulo anterior.

#### 4.1 RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Los valores obtenidos al determinar las propiedades de los agregados finos y agregados gruesos se presentan inmersos en las tablas a su vez muestran los resultados de los diseños de mezclas para resistencias de 3000 psi (21MPa) y 3500 psi (24.5 MPa) tanto para concretos tradicionales y concretos traslucidos. Los valores reportados en estas tablas corresponden a las siguientes propiedades: densidad aparente, densidad nominal, porcentaje de absorción, humedad natural, granulometría, módulo de finura, textura, forma, tamaño máximo, estimación del contenido de aire, masa unitaria compacta, masa unitaria suelta, densidades de los cementos, selección de asentamiento, estimación de contenido de agua de mezclado, determinación de la resistencia del concreto, relación agua cemento, contenido de cemento y proporción de los agregados. Las tablas presentadas son el resultado de la aplicación de la hoja de cálculo electrónico **Microsoft Excel 2010**.

##### 4.1.1. RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES.

A continuación, se presentan los resultados hallados en las pruebas de resistencias a la compresión, flexión, translucidez, y todas las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos con que se hicieron los concretos tradicionales que sirvieron como referentes de comparación con los concretos traslucidos objeto de estudio en esta investigación.

#### 4.1.1.1. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS CON RESISTENCIAS DE 3000 Psi.

Tabla 12, muestra los resultados para el diseño de concretos tradicionales con resistencia a la compresión 3000 psi.

<b>Propiedades de los Materiales</b>		
<b>Resistencia</b>	<b>3000 psi</b>	
<b>Cemento</b>	<b>Unidad</b>	
<b>Peso Especifico</b>	<b>3050</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Peso Unitario</b>	<b>2329,36</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agregado Grueso</b>		
<b>Cantera</b>	<b>Sello rojo</b>	<b>Unidad</b>
<b>Masa Unitaria Suelta</b>	<b>1245,1</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masa Unitaria Compactada</b>	<b>1376,4</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Densidad Aparente</b>	<b>2,47</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Absorción</b>	<b>4,94</b>	<b>%</b>
<b>Forma</b>	<b>irregular</b>	<b>Adimensional</b>
<b>Tamaño Máximo</b>	<b>1 1/2"</b>	<b>Adimensional</b>
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	<b>1"</b>	<b>Adimensional</b>
<b>Humedad Natural</b>	<b>0,36</b>	<b>%</b>
<b>Agregado fino</b>		
<b>Cantera</b>	<b>Santo Tomas</b>	<b>Unidad</b>
<b>masa unitaria suelta</b>	<b>1432,2</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>masa unitaria compactada</b>	<b>1.601,1</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

densidad aparente seca	2,643	g/cm <sup>3</sup>
Absorción	1,202	%
forma	angular	Adimensional
Módulo de Finura	1,85	Adimensional
Humedad Natural	4,91	%
<b>Diseño de Mezcla</b>		
Resistencia Especificada	210	kg/cm <sup>2</sup>
Selección de Asentamiento	3	in
Estimación del Contenido de Aire	1,50%	%
Estimación del Contenido de Agua	175	kg/m <sup>3</sup>
Resistencia de Diseño	293	kg/cm <sup>2</sup>
b/bo	0,76	Adimensional
P <sub>Ag</sub>	1.046,04	kg/m <sup>3</sup>
V <sub>Ag</sub>	423,50	L/m <sup>3</sup>
Relación a/c	0,47	Adimensional
Contenido de Cemento	372,34	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Absoluto de los Agregados	1000,00	kg/m <sup>3</sup>

$P_{Ag} = b/b_0 * \text{Masa unitaria} = \text{Peso del agregado Grueso.}$

$V_{Ag} = P_{Ag}/\text{Densidad aparente} = \text{Volumen del agregado Grueso}$

La tabla 13, muestra los valores obtenidos de las masas secas y volúmenes absolutos de los componentes por para un metro cubico de concreto.

<b>Componentes del Concreto</b>	<b>m por m<sup>3</sup> en kg</b>	<b>Densidad en g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Volumen absoluto en L/m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento</b>	<b>372,34</b>	<b>3,05</b>	<b>122,08</b>
<b>Agua</b>	<b>175</b>	<b>1</b>	<b>175,00</b>
<b>Contenido de Aire</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>
<b>Agregado Grueso</b>	<b>1.046,04</b>	<b>2,47</b>	<b>423,50</b>
<b>Agregado Fino</b>	<b>738,51</b>	<b>2,64</b>	<b>279,42</b>
<b>Total</b>	<b>2.331,90</b>		<b>1000,00</b>

La tabla 14, muestra los valores obtenidos de las masas húmedas de los componentes por m<sup>3</sup> concreto

<b>Componentes de Concreto</b>	<b>m seca por m<sup>3</sup> en kg</b>	<b>masa Húmeda por m<sup>3</sup> en kg</b>	<b>masa Húmeda para 1000 L en Kg</b>
<b>Cemento</b>	372,34	372,34	37,23
<b>Agua</b>	175,00	175,00	17,50
<b>Contenido de Aire</b>	0,00	0	0,00
<b>Agregado Grueso</b>	1.046,04	1.047,04	104,70
<b>Agregado Fino</b>	738,51	774,78	77,48
<b>Total</b>	2.331,90	2.369,16	236,92

La tabla 15, muestra los valores de las proporciones de las masas de los componentes por m<sup>3</sup> de concreto.

<b>Proporciones en peso de la mezcla</b>		
<b>Cemento</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado grueso</b>
1	2,08	2,81

La tabla 16, muestra los valores de las proporciones de los volúmenes de los componentes por m<sup>3</sup> de concreto.

Proporciones en volumen de la mezcla		
Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
1	2,29	3,47

#### 4.1.1.2. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS CON RESISTENCIAS DE 3500 Psi.

La tabla 17, muestra los resultados para el diseño de concretos tradicionales con resistencia a la compresión 3500 psi.

Propiedades de los Materiales		
Resistencia	<b>3500 psi</b>	
Cemento		Unidades
Densidad	3050	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Unitario	2333,47	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso		
Cantera	Sello Rojo	Unidad
Masa Unitaria Suelta	1245,1	kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Compactada	1376,4	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Aparente	2,47	g/cm <sup>3</sup>
Absorción	4,94	%
Forma	Irregular	Adimensional
Tamaño Máximo	1 1/2"	Adimensional
Tamaño Máximo Nominal	1"	Adimensional

Humedad Natural	0,36	%
<b>Agregado Fino</b>		
Cantera	Santo Tomas	Unidad
Masa Unitaria Suelta	1432,2	kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Compactada	1.601,1	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Aparente	2,643	g/cm <sup>3</sup>
Absorción	1,202	%
Forma	angular	Adimensional
Módulo de Finura	1,85	Adimensional
Humedad Natural	4,91	%
<b>Diseño de la Mezcla</b>		
Resistencia Especificada	245	kgf/cm <sup>2</sup>
Selección de Asentamiento	3	in
Estimación del Contenido de Aire	1,50%	%
Estimación del Contenido de Agua	175	kg/m <sup>3</sup>
Resistencia de Diseño	328	kgf/cm <sup>2</sup>
b/b <sub>0</sub>	0,76	adimensional
P <sub>Ag</sub>	1.046,04	kg/m <sup>3</sup>
V <sub>Ag</sub>	423,50	L/m <sup>3</sup>
Relación a/c	0,44	Adimensional
Contenido de Cemento	397,73	kg/m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de los Agregados	1000,00	kg/m <sup>3</sup>

$P_{Ag} = b/b_0 * \text{Masa unitaria} = \text{Peso del agregado Grueso}.$

$$V_{Ag} = P_{Ag} / \text{Densidad aparente} = \text{Volumen del agregado Grueso}$$

La tabla 18, muestra los valores obtenidos de las masas secas y volúmenes absolutos de los componentes por para un metro cubico de concreto.

Componentes Concreto	del	m por m <sup>3</sup> en kg	Densidad en g/cm <sup>3</sup>	Volumen absoluto en L/m <sup>3</sup>
Cemento		397,73	3,05	130,40
Agua		175	1	175,00
Contenido de Aire		0	0	0,00
Agregado Grueso		1.046,04	2,47	423,50
Agregado Fino		716,52	2,64	271,10
<b>Total</b>		<b>2.335,28</b>		<b>1000,00</b>

La tabla 19, muestra los valores obtenidos de las masas húmedas de los componentes por m<sup>3</sup> concreto

Componentes Concreto	de	m seca por m <sup>3</sup> en kg	masa Húmeda por m <sup>3</sup> en kg	masa Húmeda para 1000 L en Kg
Cemento		397,73	397,73	39,77
Agua		175,00	175,00	17,50
Contenido de Aire		0,00	0	0,00
Agregado Grueso		1.046,04	1.047,04	104,70
Agregado Fino		716,52	751,70	75,17
<b>Total</b>		<b>2.335,28</b>	<b>2.371,47</b>	<b>237,15</b>

La tabla 20, muestra los valores de las proporciones de las masas de los componentes por m<sup>3</sup> de concreto.

Proporciones en masa de la mezcla		
Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
1	1,89	2,63

La tabla 21, muestra los valores de las proporciones de los volúmenes de los componentes por m<sup>3</sup> de concreto.

Proporciones en volumen de la mezcla		
Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
1	2,08	3,25

#### 4.1.2. RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRASLUCIDOS.

A continuación, se presentan los resultados hallados en las pruebas de resistencias a la compresión, flexión, translucidez, y todas las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos con que se hicieron los concretos translucidos que sirvieron como referentes de comparación con los concretos tradicionales objetos de estudio en esta investigación.

##### 4.1.2.1. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS CON RESISTENCIAS DE 3000 Psi.

La tabla 22, muestra los resultados para el diseño de concretos translucidos con resistencia a la compresión 3000 psi

DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO 3000 psi			
DATOS			Unidad
Componente	Características	Densidad aparente	kg/m <sup>3</sup>
Agua:	Potable, pura sin durezas.	1000	kg/m <sup>3</sup>

<b>Cemento:</b>	<u>C<sub>rs</sub></u>			
	<b>Peso Especifico</b>		<b>1160</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Peso Unitario</b>		<b>1350</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agregado Grueso:</b>				
<b>PROPIEDAD</b>	<b>FORMULAS</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Masa Unitaria Suelta</b>			<b>1538</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masa Unitaria Compacta</b>			<b>1609</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Densidad Aparente Seca</b>			<b>2484</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Absorción</b>			<b>0,4</b>	<b>%</b>
<b>Humedad</b>				<b>%</b>
<b>Textura</b>				<b>Triturada</b>
<b>Forma</b>				<b>Fracturada</b>
<b>Tamaño Máximo</b>			<b>1"</b>	<b>25,0 mm</b>
<b>Agregado Fino:</b>				
<b>Masa Unitaria Suelta</b>			<b>1665</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Masa Unitaria Compacta</b>			<b>1917</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Densidad Aparente Seca</b>			<b>2399</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Absorción</b>			<b>0,2</b>	<b>%</b>
<b>Humedad</b>				<b>%</b>
<b>Forma</b>				<b>Redondeada</b>
<b>Módulo de Finura</b>			<b>2,4</b>	
<b>Selección de Asentamiento</b>			<b>3"</b>	<b>100 mm</b>
<b>Tamaño Máximo</b>			<b>1"</b>	<b>19 mm</b>
<b>Estimación de contenido de Agua de mezclado:</b>			<b>120</b>	<b>L/m<sup>3</sup></b>
<b>Determinación de la resistencia de diseño PSI</b>		<b>3000</b>	<b>210</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Relación Agua Cemento:</b>	<b>a/c</b>		<b>0,3</b>	
<b>Contenido de Cemento (C):</b>			<b>245,7</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

Proporciones de los Agregados:	$V_{Ag} = 1000 - (Vc+Va)$			
	Vc = Vol absoluto cemento		211,8	L
	Va = Vol de agua		120,0	L
	$V_{Ag} = \text{Vol absoluto de agreg.}$		616	L
Según MF de la Arena y Tamaño Máximo de la Grava	b/bo =		0,66	
$P_{Ag} = (b/bo) * \text{peso unitario compacto de agregado grueso}$				Unidad
	$P_{Ag} =$		1062	kg/m <sup>3</sup>
$V_{Ag} = P_{Ag} / \text{Densidad aparente seca agregado grueso}$				
	$V_{Ag} =$		428	L
<b>Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto.</b>				
<b>COMPONENTE</b>	<b>Masa seca en kg</b>	<b>Masa específica en kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Volumen absoluto L</b>	
Cemento	246	1160	211,8	
Agua	120	1000	172,0	
Agregado fino	453	2399	188,7	
Agregado grueso	1062	2484	427,5	
<b>TOTAL</b>	<b>1932</b>		<b>1000</b>	
<b>Ajuste por Humedad</b>				
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco (kg)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Masa Húmedo en kg</b>	
Agregado fino	453	0	453	
Agregado grueso	1062	0	1062	
	Agua por A. fino	Agua por A. grueso	Agua Total L	
Agua	1	4	177	
<b>Cálculo de las proporciones de la mezcla:</b>				
<b>Peso húmedo y volumen suelto de los ingredientes por metro cúbico de concreto.</b>				
<b>Componente</b>	<b>Masa Húmedo (kg)</b>	<b>Volumen suelto por m3 de concreto</b>	<b>Requerimiento por bulto de 50 kg</b>	

Cemento	246	0,18	27,30
Agua	120	1000,00	3,44
Agregado fino	453	0,272	82,29
Agregado grueso	1062	0,690	193,08
TOTAL	1932		
<b>PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN PESO</b>			
<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>		<b>AGREGADO GRUESO</b>
1,00	1,8		3,5
<b>PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN VOLUMEN</b>			
<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>		<b>AGREGADO GRUESO</b>
1	1,5		3,1

#### 4.1.2.2. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS CON RESISTENCIAS DE 3500 psi

La tabla 23, muestra los resultados para el diseño de concretos traslucidos con resistencia a la comprensión 3500 psi.

<b>DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO 3500 psi</b>				
<b>DATOS</b>				<b>Unidad</b>
	<b>Características</b>		<b>Densidad Aparenten</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua:</b>	Potable, pura sin durezas.		1000	kg/m <sup>3</sup>
<b>Cemento:</b>	<b><u>CTs</u></b>			
	<b>Peso Especifico</b>		1160	kg/m <sup>3</sup>
	<b>Peso Unitario</b>		1350	kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso:</b>				

Masa Unitaria Suelta			1538	Kg/m <sup>3</sup>	
Masa Unitaria Compacta			1609	Propiedad	Formula
Densidad Aparente Seca			2484	Kg/m <sup>3</sup>	
Absorción			0,4	%	
Humedad				%	
Textura				Triturada	
Forma				Fracturada	
Tamaño Máximo			1"	(25,0 mm)	
<b>Agregado Fino:</b>					
<b>Propiedad</b>	<b>Formula</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Densidad</b>	<b>Unidad</b>	
Masa Unitaria Suelta			1665	Kg/m <sup>3</sup>	
Masa Unitaria Compacta			1917	Kg/m <sup>3</sup>	
Densidad Aparente Seca			2399	kg/m <sup>3</sup>	
Absorción			0,2	%	
Humedad				%	
Forma				redondeada	
Módulo de Finura			2,4		
Selección de Asentamiento			3"	(75 mm)	
Tamaño Máximo			1"	(19 mm)	
Estimación de contenido de Agua de mezclado:			100	L/m <sup>3</sup>	
Determinación de la resistencia de diseño Psi		3500	245	Kg/cm <sup>2</sup>	
Relación Agua Cemento:	a/c		0,3		
Contenido de Cemento (C):			375,0	Kg/m <sup>3</sup>	
Proporciones de los Agregados:	$V_{Ag} = 1000 - (V_c + V_a)$				
	Vc = Vol absoluto cemento		323,3	L	
	Va = Vol de agua		150,0	L	

	$V_{Ag} = \text{Vol absoluto de agregado.}$		527	L
Según Modulo Finura de la Arena y Tamaño Max de la Grava	$b/b_o =$		0,66	
$P_{Ag} = (b/b_o) * \text{peso unitario compacto de agregado grueso}$	$P_{Ag} =$		1062	$\text{kg/m}^3$
$V_{Ag} = P_{Ag} / \text{Densidad aparente seca agregado grueso}$	$V_{Ag} =$		428	L
<b>Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto.</b>				
<i>Componentes</i>	<i>Masa seco (kg)</i>	<i>Masa específico <math>\text{kg/m}^3</math></i>	<i>Volumen absoluto en L</i>	
Cemento	375	1160	323,3	
Agua	150	1000	150,0	
Agregado fino	238	2399	99,2	
Agregado grueso	1062	2484	427,5	
TOTAL	1825		1000	
<b>Ajuste por Humedad</b>				
<i>Ingrediente</i>	<i>Peso seco (kg)</i>	<i>Humedad</i>	<i>masa húmedo (kg)</i>	
Agregado fino	238	0	238	
Agregado grueso	1062	0	1062	
	<i>Agua por Agregado fino</i>	<i>Agua por Agregado grueso</i>	<i>Agua Total en L</i>	
Agua	0,5	4,0	154,5	
<b>Cálculo de las proporciones de la mezcla:</b>				
<b>Masa Húmeda y Volumen Suelto de los Ingredientes por metro cúbico de concreto.</b>				
<i>Componentes</i>	<i>Masa Húmedo (kg)</i>	<i>Volumen suelto por m3 de concreto</i>	<i>Requerimiento por bulto de 50 kg</i>	
Cemento	375	0,278	41,667	
Agua	150	0,150	3,000	
Agregado fino	238	0,143	193,080	

Agregado grueso	1062	0,690	193,0800
TOTAL	1825		
<b>PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN PESO</b>			
CEMENTANTE	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
1	1.6	3,2	
<b>PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN VOLUMEN</b>			
CEMENTANTE	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
1	1,3	3,1	

$P_{Ag} = b/b_0 * Masa\ unitaria = Peso\ del\ agregado\ Grueso.$

$V_{Ag} = P_{Ag}/Densidad\ aparente = Volumen\ del\ agregado\ Grueso.$

## 4.2 RESULTADOS FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS.

Los especímenes de los diferentes concretos; cilindros, viguetas y bloque resultados de los diseños anteriormente descritos, se muestran a continuación en el siguiente orden: primero se muestran los resultados de los concretos convencionales y segundo se muestran los resultados de los concretos traslucidos.

### 4.2.1. ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES.

Los especímenes de concretos tradicionales obtenidos se presentan en virtud de sus resistencias. Las resistencias estipuladas para la fabricación de los diferentes especímenes son 3000 psi (21 MPa) y 3500 psi (24.5 MPa) respectivamente.

La imagen 30, muestra las fotos de los cilindros, viguetas y bloque fabricados según diseño de mezcla.

Cilindros



Viguetas



Bloque



#### 4.2.2. ESPECÍMENES DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS.

Los especímenes de los concretos traslucidos obtenidos se presentan en virtud de sus resistencias. Las resistencias estipuladas para la fabricación de los diferentes especímenes son 3000 psi (21 MPa) y 3500 Psi (24.5 MPa) respectivamente, La imagen 31, muestra las fotos de los cilindros (rojo, amarillo y verde), viguetas y bloque fabricados según diseño de mezcla y también muestra los colores de los cilindros en virtud a la presencia o ausencia de anilina en su composición, el espécimen cilíndrico verde no contiene anilina en su estructura por ende su color es producto de la interacciones fisicoquímicas de sus componentes con el espectro luminoso.

Imagen 31, muestra las fotos de los cilindros, viguetas y bloques obtenidos según diseños.

Cilindro



Vigueta



Bloque



### **4.3 RESULTADOS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.**

Los diferentes especímenes de los concretos tradicionales y traslucidos un vez obtenidos a se sometieron a las pruebas o ensayos que permitieron valorar las propiedades de traslucidez, el tiempo de fraguado y el tiempo de curado, resistencias a la comprensión, resistencia a la flexión y desgaste por abrasión. Los resultados referentes a las propiedades físicas y mecánicas aplicadas a los diferentes especímenes se presentan según el orden establecido en el capítulo III. (Metodologías)

#### **4.3.1. TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS.**

Los resultados en cuanto a la traslucidez fueron satisfactorios tanto para las pruebas cualitativas y cuantitativas.

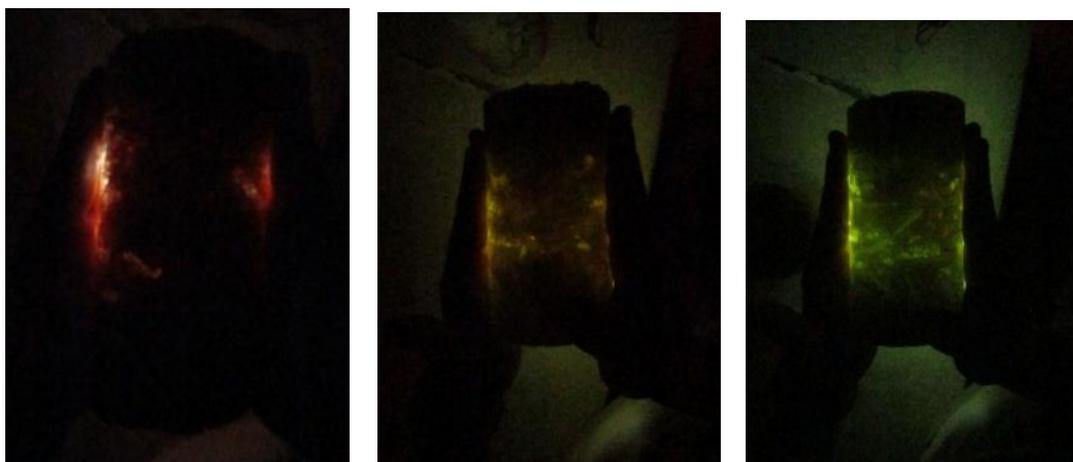
##### **4.3.1.1. PRUEBA CAULITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS.**

Las pruebas cualitativas de traslucidez para los diferentes especímenes de concretos traslucidos dejan ver su comportamiento cuando se exponen a un haz de luz y es evidente que estos materiales son conductores de luz sin importar la fuente.

###### **4.3.1.1.1. PRUEBA DEL HAZ DE LUZ DIRIGIDO.**

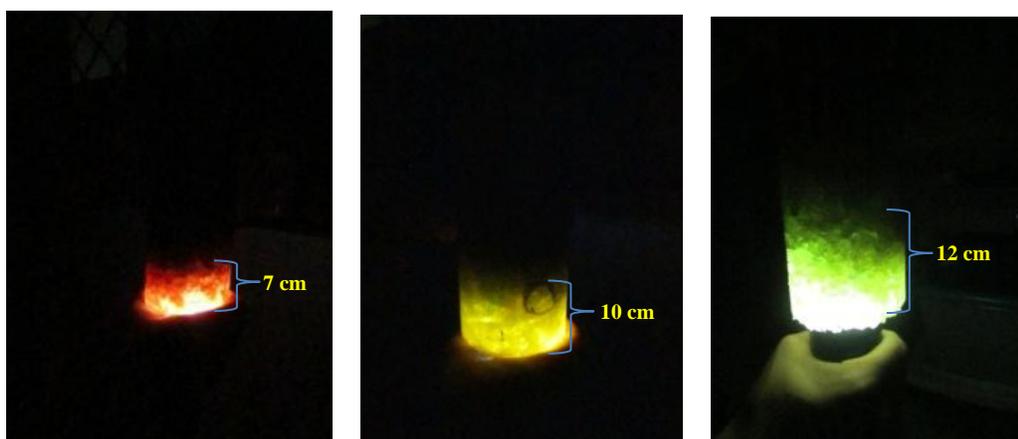
En cuanto a la prueba de traslucidez con haz de luz dirigido en cilindros (7.5 cm de diámetro) se nota que la cantidad de luz transmitida depende de la posición en la cual incide el haz de luz, como lo muestra la imagen 32 y 33.

**Imagen 32, Prueba del haz de luz dirigido en cilindros, rojo, amarillo y verde, en posición horizontal.**



La prueba del haz luz dirigido aplicada en posición horizontal a los especímenes cilíndricos muestra que los que contienen anilina en su composición, transmiten menos la luz que el espécimen sin anilina, si consideramos el diámetro de los especímenes para cada es de 7.5 cm.

**Imagen 33, Prueba del haz de luz dirigido en cilindros en posición vertical.**



En cuanto a trasmisión de luz en la posición vertical del cilindro se evidencia el mismo comportamiento de trasmisión de luz que el presentado en la posición horizontal, pero se pudo determinar semi cualitativamente el espacio recorrido por el haz de luz atreves del cilindro; el cilindro rojo presenta un espacio recorrido de 7 cm, el cilindro amarillo de 10 cm y el verde sin anilina un espacio recorrido de 12 cm, tal como lo muestra la imagen 33.

La prueba del haz de luz dirigido para viguetas solo evidencia que hay transmisión de la luz pero no hay forma de comprobar el efecto de la incidencia del haz de luz en cuanto a la posición del espécimen (ver imagen 34)

**Imagen 34, Prueba del haz de luz dirigido en viguetas en posición horizontal.**



La prueba del haz de luz dirigido para especímenes en forma de bloque, muestra el mismo comportamiento que la prueba realizada a viguetas, se evidencio traslucidez cualitativamente, pero no se pudo comparar el efecto de transmisión de la luz en cuanto a la posición del espécimen debido a sus dimensiones, el diámetro de la fuente emisora del haz de luz es más grande que la longitud del lado vertical del espécimen, lo que obliga a formar hileras de bloques para poder realizar la prueba vertical pero la posición de los especímenes siempre será horizontal (ver imagen 35 y 36).

**Imagen 35, Prueba del haz de luz dirigido en bloques en posición vertical.**



**Imagen 36, Prueba del haz de luz dirigido en bloques en posición horizontal.**



#### **4.3.1.1.1. PRUEBA DE EXPOSICIÓN ABIERTA A LA LUZ SOLAR SIMULANDO LA FACHADA DE UNA EDIFICACIÓN.**

La prueba de exposición abierta a la luz solar simulando la fachada de una edificación solo fue posible realizarla a especímenes tipo vigueta como lo muestra la imagen 37, aunque no es tan notoria la trasmisión de el haz de luz como en la prueba del haz de luz dirigido, se puede evidenciar el paso de la luz a través de estos especímenes.

**Imagen 37, Prueba de exposición abierta a la luz solar simulando la fachada de una edificación**



#### 4.3.1.2. PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS

Los resultados de las pruebas cuantitativas de la traslucidez de los concretos traslucidos en lugares abiertos y cerrados como; el pasillo que une los bloque 1 y 3 y el laboratorio de eléctrica (fuentes y motores) de la Universidad de la Costa (CUC), el sexto piso del bloque C y el laboratorio de Catálisis y Materiales de la Universidad del Atlántico se presentan a manera de imagen y tabla (ver imagen 38 y tabla 25).

Imagen 38, Pruebas cuantitativas de la traslucidez de los concretos, en lugares abiertos y cerrados



Tabla 24, Pruebas cuantitativas de la traslucidez de los concretos, en lugares abiertos y cerrados

Institución	Fecha	12/08/2013				
	Hora	Sitio	Espesor del bloque en cm	Lectura Solar	Lectura Traslucida	Estado lumínico
<b>Universidad de la Costa CUC</b>	10.02 am	Laboratorio Eléctrico	2	1626	183	Nublado
	10.08	Laboratorio Eléctrico	2.5	1685	34.15	Nublado
	10.15	Laboratorio Eléctrico	5	1546	19.85	Nublado
	10.25	Pasillo bloque 1 y 2	2	9770	1074	Nublado
	10.28	Pasillo bloque 1 y 2	2.5	9600	263	Nublado
	10.32	Pasillo bloque 1 y 2	5	9600	263.7	Nublado
		13/08/2013				
	2.10 p.m.	Pasillo bloque 1 y 2	2	3940	515	Nublado

	2.15	Pasillo bloque 1 y 2	2.5		3870	89.4	Nublado
	2.20	Pasillo bloque 1 y 2	5		3870	122.8	Nublado
	2.25	Laboratorio Eléctrico	2		1012	94.8	Nublado
	2.28	Laboratorio Eléctrico	2.5		1012	24.5	Nublado
	2.32	Laboratorio Eléctrico	5		1109	16.9	Nublado
	3.07	Pasillo bloque 1 y 2	2		66900	6400	Soleado
	3.10	Pasillo bloque 1 y 2	2.5		66900	1450	Soleado
	3.12	Pasillo bloque 1 y 2	5		66900	1700	Soleado
	3.15	Laboratorio Eléctrico	2		2512	324.7	Soleado
	3.18	Laboratorio Eléctrico	2.5		2513	42.3	Soleado
	3.22	Laboratorio Eléctrico	5		2512	27.3	Soleado
	Universidad del Atlántico UA		15/08/2013	cm	Psi		
10.12		6° piso Bloque -C	2.5	3000	63750	1450	Soleado - sol
10.14		6° piso Bloque -C	2.5	3500	63750	1000	Soleado - sol
10.16		6° piso Bloque -C	2.5	3000	62250	850	Soleado - sol
10.18		6° piso Bloque -C	2.5	3500	62250	750	Soleado - sol
10.22		6° piso Bloque -C	2.5	3000	62000	73.3	Soleado - sombra
10.25		6° piso Bloque -C	2.5	3500	62000	75.2	Soleado - sombra
10.27		6° piso Bloque -C	2.5	3000	62000	73	Soleado - sombra
10.30		6° piso Bloque -C	2.5	3500	62000	75.7	Soleado - sombra
10.32		6° piso Bloque -C	2.5	3000	62000	73.4	Soleado - sombra

#### 4.3.1.3. PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS CON ADICIONES DE FLÚOR.

Tabla 25, resultados prueba de traslucidez de los concretos con diferentes proporciones de flúor.

DISTANCIA FOCAL	MUESTREO A 0,5 % DE F				MUESTREO A 1 % DE F				MUESTREO A 1,5 % DE F				MUESTREO A 2 % EN F			
	1	2	3	P	1	2	3	P	1	2	3	p	1	2	3	p
$I_0$	0,8	0,4	0,55	0,583	0,8	0,27	0,52	0,53	0,73	0,62	0,48	0,61	0,7	0,57	0,54	0,6
35 cm	2,37	1,68	1,51	1,853	1,67	1,38	1,29	1,447	1,29	1,39	1,38	1,353	1,08	1,11	0,98	1,1
77 cm	1,75	0,97	0,76	1,16	1,27	0,9	0,81	0,993	1,58	0,83	0,82	1,077	1,02	0,71	0,66	0,8
35 Ccm - $I_0$	1,57	1,28	0,96	1,27	0,87	1,11	0,77	0,917	0,56	0,77	0,9	0,743	0,38	0,54	0,44	0,5
77 cm - $I_0$	0,95	0,57	0,21	0,577	0,47	0,63	0,29	0,463	0,85	0,21	0,34	0,467	0,32	0,14	0,12	0,2
DIFERENCIA DE PROMEDIOS				0,693				0,453				0,277				0,3
DIFERENCIA ENTRE UN PORCENTAJE Y EL SIGUIENTE	35 cm		0,353				0,173				0,29					
	77 cm		0,113				-0,003				0,273					
CAPACIDAD DE LA FUENTE ENTRE 920 Y 700 LUXES																

La Tabla 25, muestra los resultados de las pruebas de traslucidez de los concretos traslucidos con diferentes concentraciones de flúor. Dónde: P es el promedio de los muestreos a diferentes concentraciones de flúor y a diferentes distancias de la fuente lumínica,  $I_0$  es la lectura inicial tomada en el luxómetro debido a la incidencia de los rayos de luz proveniente del entorno.

#### 4.3.2. RESULTADOS DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS.

Los tiempos de fraguados para los concretos tradicionales fabricados para las resistencias 3000 y 3500 psi fueron de 2 horas y los tiempos de fraguado para los concretos traslucidos a las mismas resistencias fueron de 20 minutos. En relación de los tiempos de curados se obtuvieron los siguientes resultados: para los especímenes tipo cilindro se tomaron dos tiempos, 7 días y 28 días para los

distintos tiempos de concretos, para las viguetas el tiempo de curado fueron 28 días para todas las resistencias y tipos de concretos, como lo muestra las tabla 27 y 28, todo esto respetando la Norma NCR 10 y ACI 211,

#### 4.3.3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Los resultados de la pruebas de resistencia a la compresión se presentan solo para cilindros según el tipo de concreto. La Tabla 27 y 28 muestran los resultados de las pruebas de compresión de los cilindros de los concretos tradicionales y traslucidos.

La Tabla 26, muestra los resultados de las pruebas de resistencias a la compresión de los cilindros de los concretos tradicionales

ENSAYO A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO TRADICIONALES											
NTC-673 (anexo 15)											
REFERENCIA	Edades 7 días		Masa en kg	FUERZA KN	RESISTENCIA en KPa	TIPO DE FRACTURA	Resistencia en Psi	% Resistencia	Desviación Estándar	Resistencia promedio esperada psi	Porcentaje promedio de Resistencia
	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ENSAYO									
3000 C1	25/06/2013	02/07/2013	1,764	28	13813,518	1	2004,86	66,8			
3000 C2	25/06/2013	02/07/2013	1,772	33	16280,217	5	2362,88	78,8			
3000 C3	25/06/2013	02/07/2013	1,79	25	12333,498	3	1790,06	59,7			
3000 C4	25/06/2013	02/07/2013	1,785	33	16280,217	2	2362,88	78,8			
3000 C5	25/06/2013	02/07/2013	1,756	38	18746,917	5	2720,89	90,7			
3000 C6	25/06/2013	02/07/2013	1,743	29	14306,857	5	2076,47	69,2			
3000 C7	25/06/2013	02/07/2013	1,742	32,5	16033,547	1	2327,08	77,6			
3000 C8	25/06/2013	02/07/2013	1,739	36,5	18006,907	1	2613,48	87,1			
3000 C9	25/06/2013	02/07/2013	1,81	39	19240,257	3	2792,49	93,1			0,7780784 28
3000 C10	25/06/2013	02/07/2013	1,795	32	15786,877	5	2291,27	76,4	77,8		77,60
PROMEDIOS			1,7696	32,6	16082,9		2334,24	77,8	318,34	3008,21	13,64
3500 C1	25/06/2013	02/07/2013	1,768	35,5	17513,567	2	2541,88	84,7			

3500 C2	25/06/2013	02/07/2013	1,764	34	16773,557	3	2434,48	81,1			
3500 C3	25/06/2013	02/07/2013	1,776	33	16280,217	5	2362,88	78,8			
3500 C4	25/06/2013	02/07/2013	1,798	36	17760,237	5	2577,68	85,9			
3500 C5	25/06/2013	02/07/2013	1,801	32	15786,877	3	2291,27	76,4			
3500 C6	25/06/2013	02/07/2013	1,768	30	14800,197	2	2148,07	71,6			
3500 C7	25/06/2013	02/07/2013	1,768	37,5	18500,247	1	2685,09	89,5			
3500 C8	25/06/2013	02/07/2013	1,764	27,5	13566,848	1	1969,06	56,3			
3500 C9	25/06/2013	02/07/2013	1,776	37,5	18500,247	5	2685,09	76,7			0,804
3500 C10	25/06/2013	02/07/2013	1,72	34	16773,557	5	2434,48	69,6	77,1		68,81
PROMEDIOS			1,7703	33,7	16625,6		2413,00	77,1	230,29	3506,69	9,54
Referencia s	Edades 28 días										
3000C1	25/06/2013	23/07/2013	1,772	34,5	17020,227	2	2470,28	82,3			
3000C2	25/06/2013	23/07/2013	1,798	42	20720,276	2	3007,30	100,2			
3000C3	25/06/2013	23/07/2013	1,748	48	23680,316	3	3436,91	114,6			
3000C4	25/06/2013	23/07/2013	1,77	52	25653,675	3	3723,32	124,1			
3000C5	25/06/2013	23/07/2013	1,766	48	23680,316	3	3436,91	114,6			
3000C6	25/06/2013	23/07/2013	1,782	43	21213,616	1	3078,90	102,6			
3000C7	25/06/2013	23/07/2013	1,764	51	25160,335	1	3651,72	121,7			
3000C8	25/06/2013	23/07/2013	1,794	37	18253,577	5	2649,29	88,3			
3000C9	25/06/2013	23/07/2013	1,812	56	27627,035	5	4009,73	133,7			1,09
3000C10	25/06/2013	23/07/2013	1,765	47	23186,976	5	3365,31	112,2	109,4		109,11
PROMEDIOS			1,7771	45,85	22619,6		3282,97	109,4	482,11	3008,84	14,69
3500C1	25/06/2013	23/07/2013	1,76	46	22693,636	3	3293,71	94,1			
3500C2	25/06/2013	23/07/2013	1,78	43	21213,616	3	3078,90	88,0			
3500C3	25/06/2013	23/07/2013	1,78	50	24666,996	2	3580,12	102,3			
3500C4	25/06/2013	23/07/2013	1,766	53	26147,015	3	3794,92	108,4			
3500C5	25/06/2013	23/07/2013	1,78	52	25653,675	1	3723,32	106,4			
3500C6	25/06/2013	23/07/2013	1,78	52	25653,675	3	3723,32	106,4			
3500C7	25/06/2013	23/07/2013	1,76	54	26640,355	2	3866,52	110,5			
3500C8	25/06/2013	23/07/2013	1,758	58	28613,715	3	4152,93	118,7			1,02
3500C9	25/06/2013	23/07/2013	1,758	52	25653,675	1	3723,32	106,4			102,23

3500C10	25/06/2013	23/07/2013	1,8	50	24666,996	5	3580,12	102,3	104,3	3502,04	2,91
PROMEDIOS			1,7722	51	25160,3		3651,72	104,3	298,10	3505,72	8,16

La Tabla 27, muestra los resultados de las pruebas de resistencias a la compresión de los cilindros de los concretos traslucidos.

ENSAYO A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO TRASLUCIDO											
NTC-673											
REFERENCIA	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ENSAYO	PESO (g)	FUERZA(KN)	RESISTENCIA (Kpa)	TIPO DE FRACTURA	Resistencia (Psi)	% Resistencia	Desviación Estándar	Resistencia promedio esperada psi	Porcentaje promedio de la resistencia obtenida
3500 C1	20/06/2013	29/06/2013	1598	57	28120,4	1	4081,3	136,0			
3500 C2	20/06/2013	29/06/2013	1634	90	44400,6	5	6444,2	214,8			
3500 C3	20/06/2013	29/06/2013	1624	85	41933,9	1	6086,2	202,9			
3500 C4	20/06/2013	29/06/2013	1620	74	36507,2	5	5298,6	176,6			
3500 C5	20/06/2013	29/06/2013	1618	76	37493,8	3	5441,8	181,4			
3500 C6	20/06/2013	29/06/2013	1630	77	37987,2	3	5513,4	183,8			
3500 C7	20/06/2013	29/06/2013	1602	58	28613,7	3	4152,9	138,4			
3500 C8	20/06/2013	29/06/2013	1612	78	38480,5	5	5585,0	186,2			
3500 C9	20/06/2013	29/06/2013	1599	70	34533,8	5	5012,2	167,1			1,5
3500 C10	20/06/2013	29/06/2013	1635	89	43907,3	1	6372,6	212,4			179,42
PROMEDIOS			1617,2	75,4	37197,8		5398,8	180,0	817,2	3009,11	15,14
3000 C1	20/06/2013	29/06/2013	1542	49	24173,7	2	3508,5	117,0			
3000 C2	20/06/2013	29/06/2013	1508	46	22693,6	1	3293,7	109,8			
3000 C3	20/06/2013	29/06/2013	1490	39	19240,3	5	2792,5	93,1			
3000 C4	20/06/2013	29/06/2013	1530	42	20720,3	2	3007,3	100,2			
3000 C5	20/06/2013	29/06/2013	1520	50	24667,0	2	3580,1	119,3			
3000 C6	20/06/2013	29/06/2013	1510	46	22693,6	5	3293,7	109,8			
3000 C7	20/06/2013	29/06/2013	1490	45	22200,3	5	3222,1	107,4			
3000 C8	20/06/2013	29/06/2013	1492	48	23680,3	1	3436,9	98,2			
3000 C9	20/06/2013	29/06/2013	1528	52	25653,7	1	3723,3	106,4			1,0
3000 C10	20/06/2013	29/06/2013	1525	49	24173,7	5	3508,5	100,2			95,17

PROMEDIOS			1513,5	46,6	22989,6		3336,7	106,1	278,7	3505,86	8,35410662
3000C1	20/06/2013	18/07/2013	1602	58	28613,7	5	4152,9	138,4			
3000C2	20/06/2013	18/07/2013	1550	48	23680,3	5	3436,9	114,6			
3000C3	20/06/2013	18/07/2013	1554	60	29600,4	5	4296,1	143,2			
3000C4	20/06/2013	18/07/2013	1568,7	55,5	27380,4	3	3973,9	132,5			
3000C5	20/06/2013	18/07/2013	1570	50	24667,0	2	3580,1	119,3			
3000C6	20/06/2013	18/07/2013	1566	65	32067,1	5	4654,2	155,1			
3000C7	20/06/2013	18/07/2013	1580	53	26147,0	3	3794,9	126,5			
3000C8	20/06/2013	18/07/2013	1556	57	28120,4	2	4081,3	136,0			
3000C9	20/06/2013	18/07/2013	1600	58	28613,7	5	4152,9	138,4			1,1
3000C10	20/06/2013	18/07/2013	1536	52	25653,7	5	3723,3	124,1			132,58
PROMEDIOS			1568,27	55,65	27454,4		3984,7	132,8	362,0	3005,46	9,0845014
3500C1	20/06/2013	18/07/2013	1590	81	39960,5	2	5799,8	165,7			
3500C2	20/06/2013	18/07/2013	1520	67,5	33300,4	3	4833,2	138,1			
3500C3	20/06/2013	18/07/2013	1604	104	51307,4	5	7446,6	212,8			
3500C4	20/06/2013	18/07/2013	1572	84,5	41687,2	2	6050,4	172,9			
3500C5	20/06/2013	18/07/2013	1552	90	44400,6	5	6444,2	184,1			
3500C6	20/06/2013	18/07/2013	1592	79	38973,9	3	5656,6	161,6			
3500C7	20/06/2013	18/07/2013	1560	64	31573,8	3	4582,5	130,9			
3500C8	20/06/2013	18/07/2013	1580	104	51307,4	2	7446,6	212,8			
3500C9	20/06/2013	18/07/2013	1600	81	39960,5	5	5799,8	165,7			1,7
3500C10	20/06/2013	18/07/2013	1554	67,5	33300,4	2	4833,2	138,1			167,89
PROMEDIOS			1572,4	82,25	40577,2		5889,3	168,3	1010,7	3512,05	17,1612185

#### 4.3.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Los resultados de la pruebas de resistencia a la flexión se presentan solo para viguetas según el tipo de concreto, su resistencias y las edades de prueba.

#### 4.3.4.1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES.

La Tabla 28, 29, 30 y 31 muestra los resultados de las pruebas de comprensión de las viguetas de los concretos tradicionales, la nomenclatura de las propiedades y unidades utilizada en esta tablas, son las siguientes: MR = Modulo de Finura en kg/cm, P = Carga Máxima Aplicada en kg, L = Luz Libre entre apoyos en cm.

**La Tabla 28. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos tradicionales a 3500 psi y 7 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRADICIONAL						
Resistencia	EDAD DIAS	7				
3500						
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1392	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V2	1422	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V3	1342	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V4	1532	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V5	1430	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V6	1310	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V7	1486	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V8	1376	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V9	1410	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V10	1409	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
	1410,9	2500	255,10	<b>45,918</b>	655,977	4,520

**Tabla 29. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos tradicionales a 3000 psi y 7 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRADICIONAL						
---	--	--	--	--	--	--

Resistencia	EDAD 7					
3000	DIAS					
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (Mpa)
V1	1428	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V2	1292	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V3	1456	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V4	1420	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V5	1302	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V6	1434	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V7	1454	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V8	1344	1500	153,061	27,551	393,586	2,712
V9	1390	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V10	1380	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
	1390	1950	198,979592	<b>35,816</b>	511,662	3,525

**Tabla 30. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos tradicionales a 3500 Psi y 28 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRADICIONAL		
Resistencia	EDAD 28	
3500	DIAS	

Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1358	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V2	1348	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V3	1442	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V4	1382	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V5	1380	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V6	1384	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V7	1390	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V8	1370	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V9	1360	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V10	1406	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
	1382	2300	234,693878	<b>42,245</b>	603,499	4,158

**Tabla 31. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos tradicionales a 3000 Psi y 28 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRADICIONAL						
3000	EDAD 28 DIAS					
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1288	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V2	1300	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V3	1288	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V4	1292	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V5	1290	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V6	1294	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V7	1288	2000	204,082	36,735	524,781	3,616

V8	1296	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V9	1300	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V10	1286	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
	1292,2	2000	204,081633	<b>36,735</b>	524,781	3,616

#### 4.3.4.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRASLUCIDOS.

La Tabla 32, 33, 34 y 35 muestra los resultados de las pruebas de comprensión de las viguetas de los concretos traslucidos, la nomenclatura de las propiedades y unidades utilizada en esta tablas, son las siguientes: MR = Modulo de Finura en kg/cm, P = Carga Máxima Aplicada en kg, L = Luz Libre entre apoyos en cm.

**Tabla 32. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos TRASLUCIDOS a 3500 Psi y 7 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRASLUCIDO						
Resistencia						
3500	EDAD 7 DIAS					
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1100	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V2	1125	4000	408,163	73,469	1049,563	7,231
V3	1108	7000	714,286	128,571	1836,735	12,655
V4	1112	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V5	1098	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V6	1088	4000	408,163	73,469	1049,563	7,231
V7	1112	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V8	1108	4000	408,163	73,469	1049,563	7,231
V9	1122	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039

V10	1125	7000	714,286	128,571	1836,735	12,655
	1109,8	5100	520,408163	<b>93,673</b>	1338,192	9,220

**Tabla 33. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos tradicionales a 3000 Psi y 7 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRADICIONAL						
Resistencia	EDAD 7 DIAS					
3000	EDAD 7 DIAS					
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	esfuerzo (MPa)
V1	1088	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V2	1095	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V3	1098	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V4	1108	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V5	1078	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V6	1085	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V7	1096	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V8	1089	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V9	1110	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V10	1112	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
	1095,9	2650	270,408163	<b>48,673</b>	695,335	4,791

**Tabla 34. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos TRASLUCIDOS a 3500 Psi y 28 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRASLUCIDO						
Resistencia	EDAD 28 DIAS					
3500	EDAD 28 DIAS					
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1166	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V2	1136	7000	714,286	128,571	1836,735	12,655
V3	1144	4500	459,184	82,653	1180,758	8,135
V4	1148	5000	510,204	91,837	1311,953	9,039
V5	1130	6000	612,245	110,204	1574,344	10,847
V6	1128	4000	408,163	73,469	1049,563	7,231
V7	1166	7000	714,286	128,571	1836,735	12,655
V8	1156	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V9	1148	4500	459,184	82,653	1180,758	8,135
V10	1158	7000	714,286	128,571	1836,735	12,655
	1148	5300	540,816327	<b>97,347</b>	1390,671	9,582

**Tabla 35. Resultados de las pruebas de resistencias a la flexión de las viguetas de los concretos traslucido a 3000 Psi y 28 días de Edad**

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION CONCRETOS TRASLUCIDO						
Resistencia	EDAD 28 DIAS					
3000						
Referencia	Masa (g)	Fuerza (N)	Fuerza (kg)	Esfuerzo(kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (MPa)
V1	1134	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V2	1124	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V3	1076	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V4	1112	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V5	1080	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V6	1144	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V7	1115	2000	204,082	36,735	524,781	3,616
V8	1109	3000	306,122	55,102	787,172	5,424
V9	1122	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
V10	1102	2500	255,102	45,918	655,977	4,520
	1111,8	2650	270,408163	<b>48,673</b>	695,335	4,791

#### **4.3.5. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS.**

Se tomaron dos especímenes en forma de bloque con 2.5 cm de espesor, los cuales fueron fabricados con resistencia de 3000 Psi y 3500 psi respectivamente. Se sometieron a la máquina y no mostraron desgaste a los 2100 y 6000 giros, pero si a 12000 giros tal como lo muestra la tabla 36.

**Tabla 36. Resultados de las pruebas de desgaste por abrasión para bloques con resistencia de 3000 psi Y 3500 psi.**

Resistencia	Número de Giros	de Trafico	Se Deja Rayar	
			Si	No
3000 Psi	2100	Nivel 4 Bajo		X
	6000	Nivel 4 Medio		X
	12000	Nivel 5 Alto	X	
3500 Psi	2100	Nivel 4 Bajo		X
	6000	Nivel 4 Medio		X
	12000	Nivel 5 Alto	X	

**Imagen 39, Pruebas cuantitativa de desgaste por abrasión de elementos de concretos traslucido**



En la imagen 39, se observa el circulo de desgaste por abrasion de los elementos sometidos al ensayo pertinente, la parte que no tuvo desgaste, se ve mas brillante que la parte afectada, en cambio, la zona sometida a desgaste, se aprecia con perdida de granos.

## CAPITULO V

### 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una vez emprendida la tarea de producir concretos traslucidos, se enfrentó una serie de interrogantes extraídos de la bibliografía consultada. A continuación se destacan algunos mitos o suposiciones frutos de la experiencias de autores en otras latitudes del planeta; entre ellas, se encontró que algunos de los cementantes era el cemento blanco y algunos casos el cemento gris, ambos portland, con adiciones de fibras ópticas, vidrio, fibras de vidrio y otros aditivos que en la práctica solo se les conoce el nombre dado por sus descubridores, vislumbrándose un misterio alrededor de la metodología aplicada en la fabricación de estos concretos, en todo caso, se desconoce que es el “litracon” o que es el “ilum”, reportados por el húngaro Araron Lasonczi y los mexicanos Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Galván Cazares. Sin embargo en este trabajo de investigación tal como lo resultados lo demuestran se fabricaron concretos traslucidos y a continuación se discutirán sobre ellos.

#### 5.1 EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PARA CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Al comparar las propiedades físicas de los concretos tradicionales y concretos traslucidos podemos notar que los valores numéricos obtenidos para los concretos traslucidos siempre son menores. De todas estas propiedades es de interés especial la masa por metro cubico de los concretos, debido a que podemos evidenciar que los concretos traslucidos son más livianos que los concretos tradicionales no importa la resistencia a la cual fueron fabricado.

Los concretos tradicionales presentan una masa por metro cubico iguales a 2.331.90 y 2.3335.28 kg/m<sup>3</sup>, para resistencias de 3000 y 3500 psi, mientras que en los concretos traslucidos son 1932 y 1825 Kg/m<sup>3</sup> para las mismas resistencias.

Otras propiedades que toma relevancia son: la absorción con valores de 4.94 % para concretos tradicionales y 0.4 % para concretos traslucidos; contenido de agua con valores de 17.5 % y 15 % para concreto tradicionales con resistencias de 3000 y 3500 Psi respectivamente, mientras que los concretos traslucidos presentan valores de 12 % y 10 % para esta misma condiciones; contenido de aire con valores de 1.5 % para concretos tradicionales y 0 % para concretos traslucidos. Las tablas 38 y 39 muestran los valores descritos anteriormente.

Al analizar estos datos se evidencian que los concretos traslucidos absorben menos agua del medio por lo tanto deben incorporar menos cantidad de sales

como cloruros, sulfatos entre otros, por lo ende estos concretos poseen más resistencia al ataque químico.

Tabla 37. Comparación entre los diseños de mezcla de los concretos tradicionales y traslucidos a 3000 Psi

Propiedades de los Materiales a 3000 psi			
AGREGADO GRUESO	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Masa Unitaria Suelta	1245,1	1538	kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Compactada	1376,4	1609	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Aparente	2,47	2484	g/cm <sup>3</sup>
Absorción	4,94	0,4	%
Forma	Irregular	Irregular	Adimensional
Tamaño Máximo	1 1/2"	1"	Adimensional
Humedad Natural	0,36	0	%
AGREGADO GRUESO	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Masa unitaria suelta	1432,2	1665	kg/m <sup>3</sup>
Masa unitaria compactada	1.601,10	1917	kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente seca	2,643	2.399	g/cm <sup>3</sup>
Absorción	1,202	0,2	%
Forma	Angular	Irregular	Adimensional
Módulo de Finura	1,85	2.4	Adimensional
Humedad Natural	4,91	0	%
Diseño de Mezcla	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Selección de Asentamiento	3	3	In
Estimación del Contenido de Aire	1,50%	0	%
Estimación del Contenido de Agua	175	120	kg/m <sup>3</sup>
b/b <sub>0</sub>	0.76	0.66	Adimensional

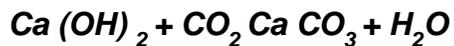
$P_{Ag}$	1.046,04	1062	kg/m <sup>3</sup>
$V_{Ag}$	423,5	428	L/m <sup>3</sup>
Relación a/c	0,47	0.3	Adimensional
Contenido de Cemento	372,34	246	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Absoluto de los Agregados	1000	211.8	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	1.046,04	1062	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	738,51	453	kg/m <sup>3</sup>
Masa de m <sup>3</sup> de Concreto	2331.90	1932	kg/m <sup>3</sup>

$P_{Ag} = b/b_0 * Masa\ unitaria = Peso\ del\ agregado\ Grueso.$

$V_{Ag} = P_{Ag}/Densidad\ aparente = Volumen\ del\ agregado\ Grueso$

Si el contenido de agua es más bajo implica que el fenómeno de la corrosión será más lento en los concretos traslucidos, si tenemos en cuenta que la corrosión no se produce en el concreto seco, pues está impedido el proceso electrolítico, tampoco ocurre en el concreto saturado de agua debido a la falta de oxígeno. Los valores bajo en el contenido de agua disminuye la corrosión por carbonatación del concreto, la cual se inicia con la combinación de la Portlandita u hidróxido de calcio del cemento con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, que reduce la alcalinidad del concreto y disminuye su eficacia en la protección del refuerzo.

Las reacciones tienen la siguiente forma:



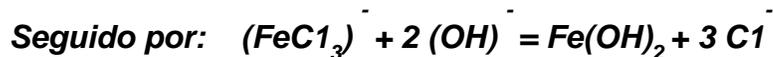
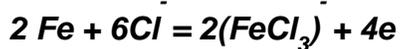
Los concretos traslucidos al no presentar aire contenido en su estructura, evitan la corrosión por carbonación ya que el contenido de poros es muy bajo y están ocupados por el agua.

Tabla 38. Comparación entre los diseños de mezcla de los concretos tradicionales y traslucidos a 3500 psi

Propiedades de los Materiales a 3500 psi			
AGREGADO GRUESO	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Masa Unitaria Suelta	1245,1	1538	kg/m <sup>3</sup>
Masa Unitaria Compactada	1376,4	1609	kg/m <sup>3</sup>
Densidad Aparente	2,47	2484	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	4,94	0,4	%
Forma	Irregular	Irregular	Adimensional
Tamaño Máximo	1 1/2"	1"	Adimensional
Humedad Natural	0,36	0	%
AGREGADO GRUESO	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Masa unitaria suelta	1432,2	1665	kg/m <sup>3</sup>
Masa unitaria compactada	1.601,10	1917	kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente seca	2,643	2399	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	1,202	0,2	%
Forma	Angular	Irregular	Adimensional
Módulo de Finura	1,85	2.4	Adimensional
Humedad Natural	4,91	0	%
Diseño de Mezcla	TRADICIONAL	TRASLUCIDO	UNIDAD
Selección de Asentamiento	3	3	In
Estimación del Contenido de Aire	1,50	0	%
Estimación del Contenido de Agua	175	100	kg/m <sup>3</sup>
b/b <sub>0</sub>	0.76	0.66	Adimensional
P <sub>Ag</sub>	1.046,04	1062	kg/m <sup>3</sup>

V <sub>Ag</sub>	423,5	428	L/m <sup>3</sup>
Relación a/c	0,44	0.3	Adimensional
Contenido de Cemento	397.73	375	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Absoluto de los Agregados	1000	1000	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	1.046,04	1062	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	716,52	238	kg/m <sup>3</sup>
Masa de un m <sup>3</sup> de Concreto	2335.28	1825	kg/m <sup>3</sup>

Los bajos valor en la absorción por los concretos traslucidos evita la corrosión por cloruros, típica de los ambientes marinos, la cual se debe al ion cloruro presente en el agua o en la niebla marina, que actúa como un catalizador para la oxidación, tomando parte activa en la reacción. Al oxidar al acero para formar el ion complejo cloruro férrico, (FeCl<sub>3</sub>)<sup>-</sup>, arrastra este ion inestable en la solución, donde reacciona con los iones hidroxilo disponible para formar hidróxido de hierro, Fe(OH)<sub>2</sub> que libera iones cloro y consume iones hidroxilo como se esquematiza en las siguientes reacciones:



Los electrones liberados en la reacción de oxidación fluyen a través del acero hasta la superficie catódica. De este proceso resulta una concentración de ion cloruro y una reducción del pH que favorece la ruptura continua de la película de óxido pasivante.

## 5.2 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos tradicionales y traslucidos se consideraron el siguiente orden: evaluación de las propiedades de traslucidez, evaluación del tiempo de fraguado y el tiempo de curado, evaluación de la resistencias a la compresión, resistencia a la flexión y desgaste por abrasión.

### **5.2.1. EVALUACION DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS.**

Los concretos obtenidos transmiten la luz no importando la fuente, este hecho que se comprueba con la aplicación de pruebas cualitativas y cuantitativas. Para la prueba cuantitativa se evaluó los datos arrojados por las pruebas del haz de luz dirigido y la prueba de exposición abierta a la luz solar simulando la fachada de una edificación

#### **5.2.1.1. PRUEBA DEL HAZ DE LUZ DIRIGIDO PARA CILINDROS.**

Los especímenes cilíndricos rojo, amarillo y verde, sometido a la incidencia de un rayo de luz en posición horizontal presentan transmisión de la luz sin importar si contienen o no anilina en su composición pero a simple vista se nota que el cilindro verde que no presenta anilina transmite mejor la luz, este hecho indica que la anilina es un factor que disminuye esta propiedad. El color verde del cilindro con mayor translucidez en términos cualitativos, se debe a la combinación de las diferentes longitudes de onda emitidas por los componentes del concreto. La acción de la anilina es modificar este color al introducir otra longitud de onda al conjunto de longitudes de onda del concreto sin aditivos. La disminución aparente de la translucidez debido a la presencia de anilina se puede explicar partiendo que la anilina constituye un componente más y su presencia aumenta el número de obstáculos que debe superar el rayo de luz al recorrer horizontalmente al material, se puede decir entonces que la anilina aumenta la absorbancia y disminuye la tramitancia de la luz del concreto translucido. El diámetro de los cilindros no se considera como factor que afecte la translucidez ya que todos los cilindros presentan el mismo diámetro 7.5 cm. (ver imagen 28 en el capítulo referente a los resultados).

En cuanto a la transmisión de luz en la posición vertical de los cilindros se evidencia el mismo comportamiento de transmisión de luz que el presentado en la posición horizontal, pero se pudo determinar semi cualitativamente el espacio recorrido por el haz de luz a través de los cilindros; 7 cm por cilindro rojo, 10 cm por el cilindro amarillo y 12 cm por el cilindro verde (ver imagen 29). Esta diferencia en el alcance vertical del haz de luz se puede explicar asumiendo que la anilina ejerce el mismo efecto no importa la posición en se ponga el cilindro, pero en esta ocasión es más notorio. También se puede notar que la luz se desborda horizontalmente a medida que la luz recorre verticalmente al cilindro, efecto que se debe a el haz de luz en su ascenso sufre desdoblamiento tanto en intensidad como en dirección provocado por los granos del material que actúan como obstáculos, lo que se traduce en división y desviación del rayo de luz en sentido horizontal, las divisiones y las desviación aumentan en forma progresiva a medida que el rayo asciende, lo que provoca disminución en la fuerza de ascenso del rayo, de tal

manera que la luz absorbida y transmitida por el cilindro se fluye hacia donde encuentre menos resistencia a su movimiento.

#### **5.2.1.2. PRUEBA DEL HAZ DE LUZ DIRIGIDO PARA VIGUETAS Y BLOQUES.**

Es evidente que las viguetas y bloques transmiten la luz, hecho que se demuestra cualitativamente en las imágenes 30 y 31. Sin embargo no se puede verificar la transmisión de luz en posición vertical, hecho que se debe a que el diámetro del cono de la fuente emisora de luz supera el espesor de los especímenes y por lo tanto la luz que pasa directa a través de los bordes del material no permite determinar cualitativamente esta propiedad.

#### **5.2.1.3. PRUEBA DE EXPOSICIÓN ABIERTA A LA LUZ SOLAR.**

Como se dijo en el capítulo de los resultados la prueba de exposición abierta a la luz solar solo fue posible realizarla a especímenes tipo vigueta, debido a que los cilindros y bloques no presentaron una forma simétrica y de ahí que sea difícil agruparlos en forma continua. La imagen 33 muestra que la pared hecha con viguetas transmite la luz proveniente de la radiación solar en un entorno natural.

### **5.2.2 PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS**

La tabla 24 confirma los resultados cualitativo de traslucidez, donde se aprecia un valor máximo de traslucidez de 16.9 lumen para día nublado y un valor máximo de 6400 lumen para día soleado, si la iluminación de una oficina según los datos tomados en esta investigación corresponden a 80 lumen y la intensidad lumínica del exterior es de 62000 lumen bajo la sombra, podemos inferir que si construimos las paredes de una oficina con este tipo de material tendremos durante el día la iluminación suficiente para realizar las actividades propias de este lugar de trabajo sin invertir en energía eléctrica.

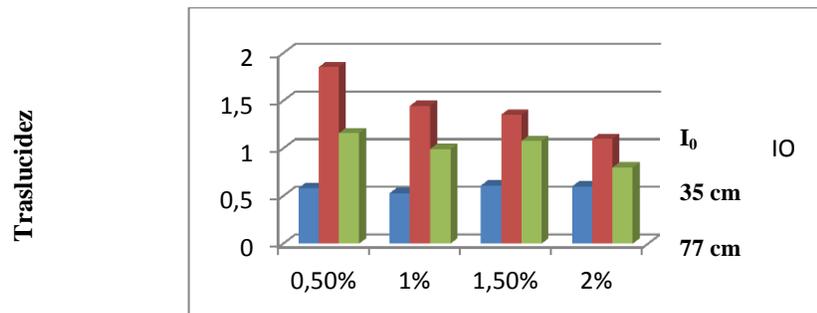
Un material se considera transparente si permiten ver a través de él y dejan pasar fácilmente la luz tales como el agua y el vidrio, los materiales traslucidos tienen la propiedad de dejar pasar la luz pero no se puede ver a través de él, las formas y colores se distorsionan, este es el caso del hielo, fibra de vidrio y algunos plásticos.

Las pruebas cualitativas y cuantitativas aplicadas a cilindros, viguetas y bloques de concreto no convencionales evidenciaron que estos materiales presentan propiedades de translucidez.

### 5.2.3. PRUEBA CUANTITATIVA DE LA TRASLUCIDEZ DE LOS CONCRETOS CON ADICIONES DE FLÚOR.

La figura 11. se origina de la tabla 26 al relacionar los promedios  $P$  de los porcentajes de flúor adicionado a especímenes cilíndricos con cada muestreo. Donde  $I_0$  corresponde a los valores de la intensidad de lumínica tomados a una posición inicial a una distancia cero del luxómetro, los siguientes datos corresponden a una segunda medida tomada a una distancia de 35 cm de la primera posición y una tercera serie de datos corresponden a medidas tomadas a 77 cm de la primera posición. El objeto de introducir y variar porcentajes de flúor en los concretos translucido se hizo con el fin de determinar el efecto de adiciones como el flúor en la translucidez de los concretos.

Figura 11. Translucidez Vs & de Flúor



La Figura 11, muestra que la translucidez disminuye inversamente proporcional a la concentración de flúor, pero también arroja información sobre la translucidez en virtud de la distancia a la que se encuentre el material de la fuente luminosa, a una distancia de 35 cm de la posición inicial hay mayor translucidez para cualquier concentración de flúor. La máxima translucidez se dio a una distancia de 35 cm y una concentración de 0,5 % de flúor.

De este comportamiento podemos inferir que la acción del flúor es la de aglutinar las partículas que están a su alrededor, esto trae como consecuencia que se forme una macro estructura formada por el conjunto de granos resultantes del aglutinamiento de partículas y cuyo ordenamiento estructural es de largo alcance y una micro estructura que determina el tamaño de los granos cuyo ordenamiento es de corto alcance y por ende evita el paso de luz. Esta configuración global es la responsable de la translucidez de los concretos a una determinada distancia. En

primera instancia la baja concentración de flúor trae como consecuencia poca formación de granos cuyo volumen es muy bajo, en relación al volumen del material, por lo tanto la distancia entre ellos es bastante considerable, lo que permite el paso de los rayos luminosos sin dificultad, al aumentar el porcentaje de flúor aumenta el número de granos y como el volumen del material permanece constante, la distancia entre granos disminuye lo que dificulta el paso de la luz. La baja traslucidez a corta distancia se debe a que la frecuencia de choque de los rayos luminosos contra los aglomerados es muy alta debido a que los rayo de luz no tienen el espacio suficiente para esquivar los obstáculos debido a la microestructura del material. A una distancia media como la reportada en este trabajo los rayo de luz tienen mayor grado de libertad y por ende superar las barreras debido al orden de corto alcance del material, es evidente que a esta distancia las condiciones macro estructurales priman y que a una distancia de 77 cm el rayo de luz no tiene la intensidad suficiente para vencer las dificultades debido a la micro y macro estructura de los concretos.

### 5.3. EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y TIEMPOS DE CURADO DE LOS CONCRETOS.

Tal como lo muestra la tabla 39, los tiempos de fraguados para los concretos tradicionales es 2 horas para las resistencias 3000 y 3500 psi y 20 minutos en los tiempos de fraguado para las mismas resistencias para los concretos traslucidos a las mismas resistencias. Los tiempos de curados fueron de 7 y 28 días para especímenes tipo cilindro y 28 días para especímenes tipo viguetas.

**Tabla 39. Tiempos de fraguado y tiempo de curado para concretos**

CONCRETOS		TRADICIONAL			TRASLUCIDO	
Resistencia	Espécimen	Tiempo de Fraguado	Tiempo de Curado		Tiempo de Fraguado	Tiempo de Curado
			I	II		
3000 Psi	Cilindros	2 h	7	28	20´	-
	Viguetas	2 h	-	28	20´	-
	Bloques	2 h	-	-	20´	-
3500 Psi	Cilindros	2 h	7	28	20´	-
	Viguetas	2 h	-	28	20´	-
	Bloques	2 h	-	-	20´	-

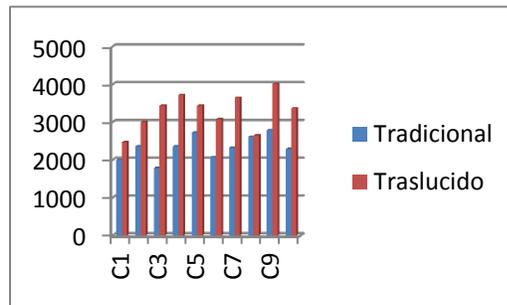
Estos resultados demuestran que la fabricación de los concretos traslucidos es más rápida, pero esta velocidad en el fraguado y curado no implica pérdida o disminución de las demás propiedades, por lo contrario se mantienen y en algunos casos los valores obtenidos en concretos traslucidos superan a los obtenidos en concretos tradicionales.

#### 5.4. EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

Las figuras 12 y 13, proveniente de la tabla 27 y 28, muestra el comportamiento de los valores obtenidos de las resistencias a la compresión de los concretos traslucidos y tradicionales. En ambas graficas se evidencia que las resistencias obtenidas para concretos traslucidos superan a las resistencias obtenidas para los concretos tradicionales

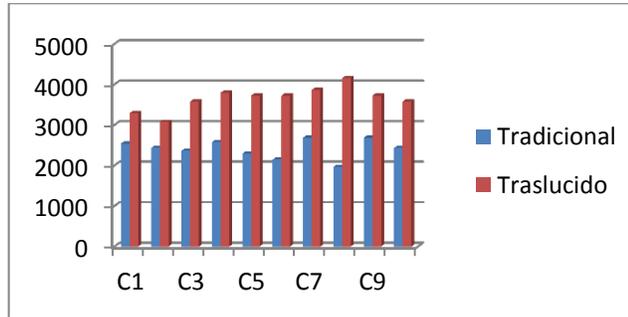
Este hecho involucra que estos concretos traslucidos al presentar mayores resistencia a la compresión y como se dijo anteriormente mayor resistencia la corrosión los convierte en materiales con una durabilidad superior que los concretos tradicionales.

**Figura 12. Comparación de las resistencias a la compresión de los concretos para resistencias de 3000 Psi**



Las resistencias estipuladas para construir los diseños de mezclas fueron 3000 y 3500 Psi, sin embargo los concretos tradicionales cuyas resistencias esperadas eran de 3000 Psi superan en un 50 % esta resistencia, por lo contrario los concretos tradicionales no alcanzan este valor.

**Figura 13. Comparación de las resistencias a la compresión de los concretos para resistencias de 3500 psi**



La figura 13, muestra los datos obtenidos para concretos cuyas resistencia esperadas eran de 3500 Psi. Es evidente que los concretos traslucidos superan en un 100 % este valor, mientras que los valores obtenidos por los concretos tradicionales no lo superan.

#### 5.4.1 COMPARACION DE TRATAMIENTOS (TIPO DE MATERIALES Y RESISTENCIA A LA COMPRESION)

**TABLA 40. ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA)**

##### **Análisis de Varianza para Resistencia - Suma de Cuadrados Tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Tipo de material	3,97653E7	1	3,97653E7	176,74	0,0000
B:Compresión	1,14589E7	1	1,14589E7	50,93	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	9,83467E6	1	9,83467E6	43,71	0,0000
<b>RESIDUOS</b>	8,09955E6	36	224987,		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	6,91583E7	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Al analizar los valores arrojados por la tabla ANOVA en cuanto a la descomposición de la variabilidad de Resistencia a la compresión en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia

estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia con un 95,0% de nivel de confianza.

#### 5.4.2 ESTIMACIÓN DE PARAMETROS PARA CONCRETOS SOMETIDOS A COMPRESION.

Tabla 41. Medias por Mínimos Cuadrados para Resistencia con intervalos de confianza del 95,0%

			<i>Error</i>	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Est.</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
MEDIA GLOBAL	40	3370,68			
Tipo de material					
Tradicional	20	2373,62	106,063	2158,51	2588,72
Traslucido	20	4367,74	106,063	4152,63	4582,85
Compresión					
3000	20	2835,45	106,063	2620,34	3050,55
3500	20	3905,91	106,063	3690,8	4121,02
Tipo de material por Compresión					
Tradicional,3000	10	2334,24	149,996	2030,03	2638,44
Tradicional,3500	10	2413,0	149,996	2108,79	2717,2
Traslucido,3000	10	3336,66	149,996	3032,45	3640,87
Traslucido,3500	10	5398,82	149,996	5094,61	5703,03

Esta tabla muestra la media de Resistencia a la compresión para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en los muestreos realizados. Los valores obtenidos para el nivel inferior como para el nivel superior muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias.

#### 5.4.3 Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la Compresión por Tipo de material

Tabla 42-A. Comparación de medias.

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Tipo de material</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Tradicional	20	2373,62	106,063	X
Traslucido	20	4367,74	106,063	X

Esta tabla es evidente la identificación de 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en la columna. Lo que se puede interpretar de la siguiente manera: No existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles

que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 42-B. Comparación de medias

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Tradicional - Traslucido	*	-1994,12	304,206

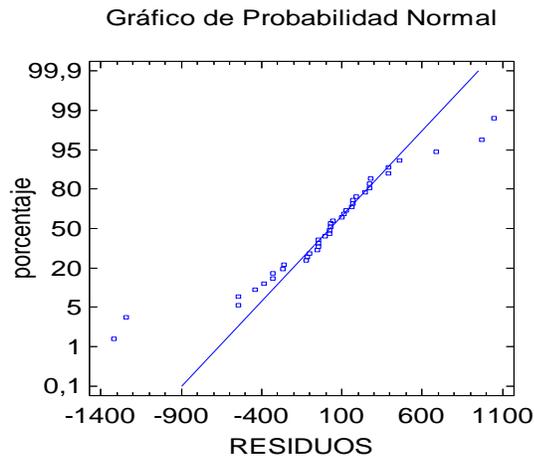
\* indica una diferencia significativa.

Al aplicar un procedimiento comparativo múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se obtiene que las diferencias estimadas entre cada par de medias son estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

#### 5.4.4 VERIFICACION DEL CUMPLIMIENTO DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO PARA CONCRETOS SOMETIDOS A LA COMPRESION.

##### 5.4.4.1 NORMALIDAD DE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

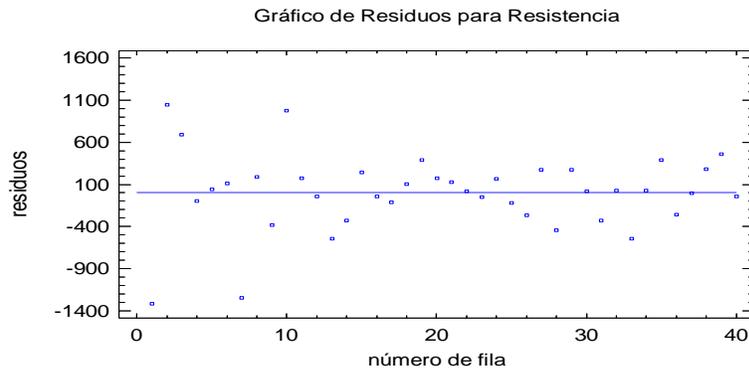
Figura 14 Probabilidad Normal.



El gráfico sugiere un comportamiento normal de los valores de los residuos de la resistencia, es decir se cumple el supuesto de normalidad.

#### 5.4.4.2 INDEPENDENCIA DE LOS VALORES DE LAS RESISTENCIA LA COMPRESION.

Figura 15 Muestra la independencia de los datos.



En el gráfico no se aprecia ninguna tendencia seguida por los valores de los residuos de la resistencia, lo que demuestra la independencia de la información.

#### 5.4.4.3 HOMOCEDASTICIDAD DE LOS VALORES DE LAS RESITENCIA A LA COMPRESION.

Figura 16 Dispersión por valores de compresión.

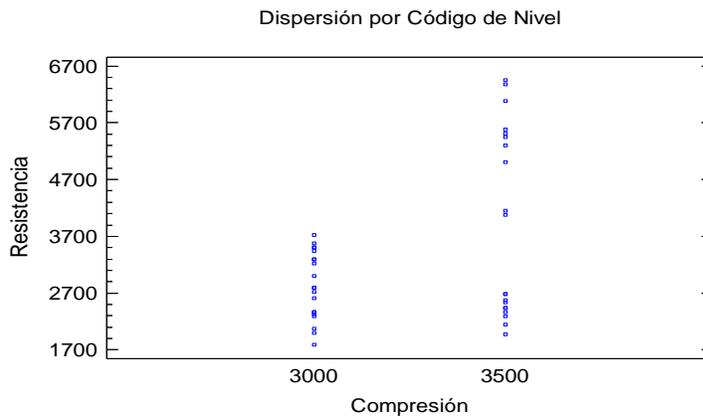
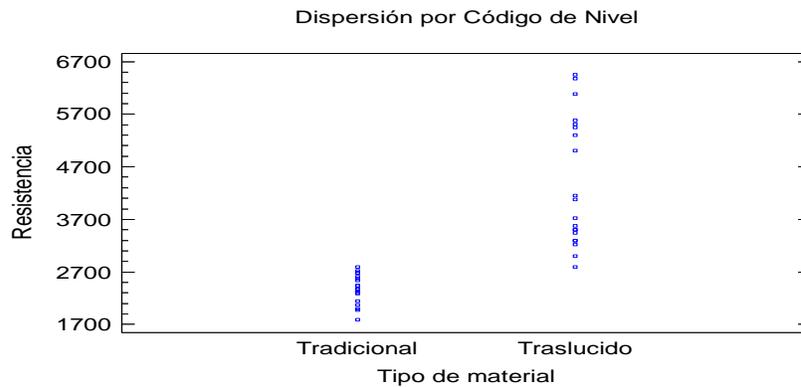


Figura 17, Dispersión por tipo de concreto.

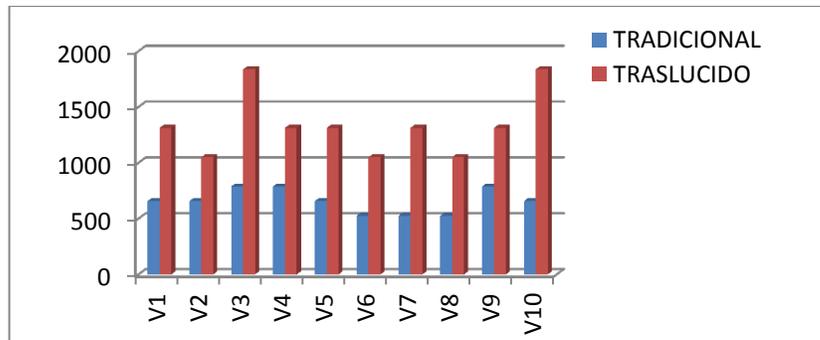


En las figuras 16 y 17, se observa una mayor variabilidad de resistencia en los concretos traslucido que en los concretos convencionales; igualmente se aprecia esto en los concretos elaborados con una compresión de 3500 psi que los elaborados con una compresión de 3000 psi. Sin embargo, no hay evidencia de la heterocedasticidad.

### 5.5. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS TRADICIONALES Y TRASLUCIDOS.

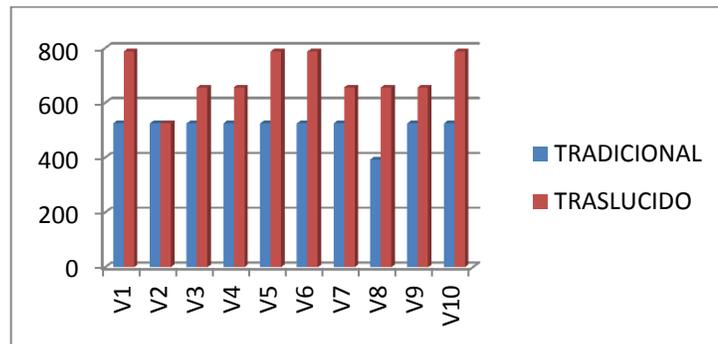
Al analizar las Figura 18 y 19 se corrobora lo dicho anterior mente, los concretos traslucidos superan a los concretos tradicionales en cuanto a sus propiedades mecánicas. También es clara la tendencia de los concretos traslucido en duplicar la resistencia a la flexión a edades de 7 días en relación a los concretos tradicionales, como lo muestra la figura 18.

Figura 18. Comparación de las resistencias a la flexión de los concretos de 7 días de edad y 3500 Psi



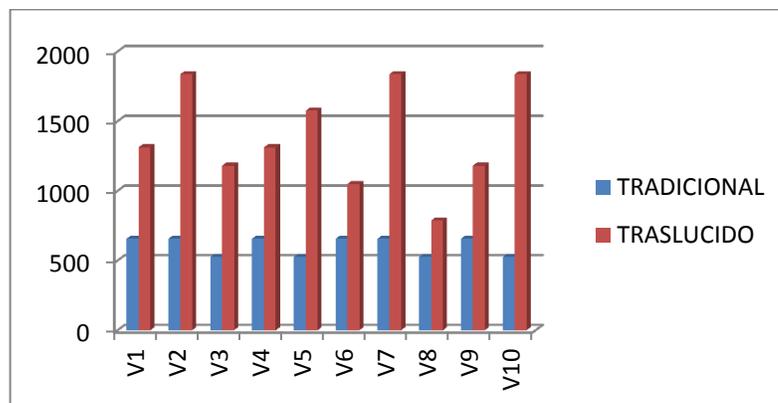
La Figura 19 muestra la misma tendencia, los valores de la resistencia a la flexión, los concretos traslucidos superan los valores obtenidos por los concretos tradicionales pero no lo supera en un margen tan amplio como en el caso descrito en el aparte anterior. Si consideramos que la resistencias de estos concretos es de 3000 psi y que sus edades son de 7 días podemos inferir que los concretos traslucidos disminuyen la resistencia la flexión al disminuir su resistencia a la compresión, mientras que los concretos tradicionales siguen un comportamiento inverso.

**Figura 19. Comparación de las resistencias a la flexión de los concretos de 7 días de edad y 3000 Psi**



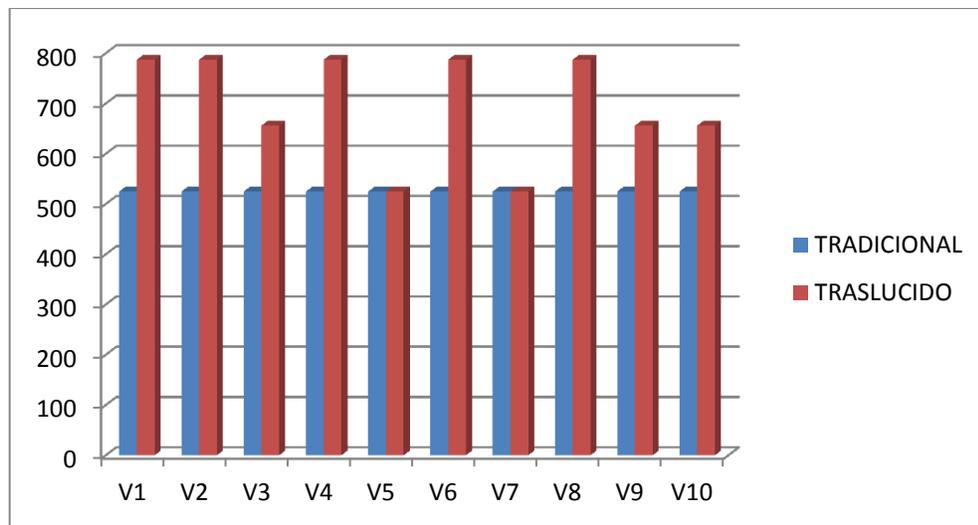
Si comparamos la figura 18 con la figura 20, se puede deducir que los concretos traslucidos tienden a duplicar la resistencia a la flexión al aumentar la resistencia a la compresión en relación a los concretos tradicionales. No consideramos la edad de los concretos, debido que para el primer caso la edad fue de 7 días y este último es de 28 y la proporcionalidad de las resistencias se mantuvo, además en el segundo caso se mantuvo la edad y la resistencia a la flexión disminuyó al disminuir la resistencia a la compresión.

**Figura 20. Comparación de las resistencias a la flexión de los concretos de 28 días de edad y 3500 Psi**



La tendencia de presentar mayores valores en cuanto a la resistencia a la flexión de los concretos traslucidos en relación a los concretos tradicionales es hecho definitivo, tal como se vuelve a corroborar en la Figura 21, nuevamente se vislumbra que los concretos traslucidos disminuyen su resistencia a la flexión al disminuir su resistencia a la compresión independiente de sus edades.

**Figura 21. Comparación de las resistencias a la flexión de los concretos de 28 días de edad y 3000 Psi**



### 5.5,1 COMPARACION DE TRATAMIENTOS (TIPO DE MATERIALES Y RESISTENCIA A LA FLEXION)

**TABLA 43 Análisis de varianza anova para resistencias a la flexión.**

Análisis de Varianza para FLEXION - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TIPO DE CONCRETO	2,2931E6	1	2,2931E6	60,79	0,0000
B:RESISTENCIA	1,49789E6	1	1,49789E6	39,71	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	950543,	1	950543,	25,20	0,0000
RESIDUOS	1,35805E6	36	37723,5		
TOTAL (CORREGIDO)	6,09958E6	39			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Al analizar los valores p se prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, debido a que 3 valores-p son menores que 0,05, los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la FLEXION con un 95,0% de nivel de confianza, igual que los resultados arrojados por el análisis a la resistencia a la compresión

## 5.5.2 ESTIMACION DE PARAMETROS PARA RESISTENCIA A LA FLEXION.

Tabla 44 Medias por mínimos Cuadrados para Resistencia a la flexión con intervalos de confianza del 95%

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para FLEXION con intervalos de confianza del 95,0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
MEDIA GLOBAL	40	803,571			
TIPO DE CONCRETO					
TRADICIONAL	20	564,14	43,4301	476,059	652,22
TRASLUCIDO	20	1043,0	43,4301	954,922	1131,08
RESISTENCIA					
3000	20	610,058	43,4301	521,978	698,139
3500	20	997,085	43,4301	909,004	1085,17
TIPO DE CONCRETO por RESISTENCIA					
TRADICIONAL,3000	10	524,781	61,4194	400,216	649,346
TRADICIONAL,3500	10	603,499	61,4194	478,934	728,063
TRASLUCIDO,3000	10	695,335	61,4194	570,771	819,9
TRASLUCIDO,3500	10	1390,67	61,4194	1266,11	1515,24

Esta tabla muestra la media de Resistencia a la flexión para cada uno de los niveles de los factores. También muestra los errores estándar de cada media, los cuales son una medida de la variabilidad en los muestreos realizados. Los valores obtenidos para el límite inferior como para el límite superior muestran intervalos de confianza del 95,0% para cada una de las medias. Pueden desplegarse estas medias e intervalos seleccionado Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas.

5-5-3 Prueba de Múltiple Rango Para Resistencia a la flexión por tipo de material.

Tabla 45 Comparación de Medias.

### Pruebas de Múltiple Rangos para FLEXION por TIPO DE CONCRETO

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>TIPO DE CONCRETO</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
TRADICIONAL	20	564,14	43,4301	X
TRASLUCIDO	20	1043,0	43,4301	X

En esta tabla es evidente la identificación de 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en la columna. Lo que se puede interpretar de la siguiente manera: No existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles que compartan una misma columna de X's. Como el método aplicado para obtener estos resultados es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher y como se explicó anteriormente con este método hay un riesgo del 5,0% al

decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
TRADICIONAL - TRASLUCIDO	*	-478,863	124,565

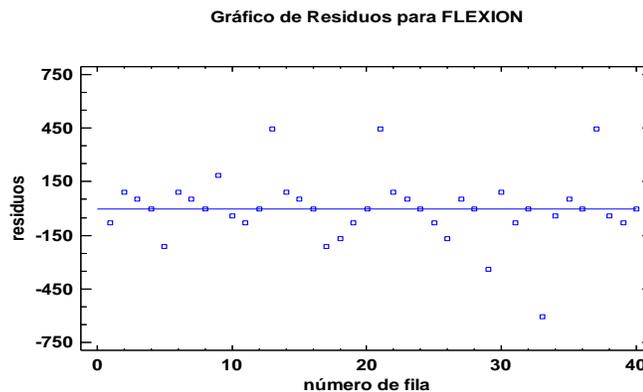
\* indica una diferencia significativa.

Al aplicar un procedimiento comparativo múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se obtiene que las diferencias estimadas entre cada par de medias son estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza

#### 5.5.4 VERIFICACION DEL CUMPLIMIENTO DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO.

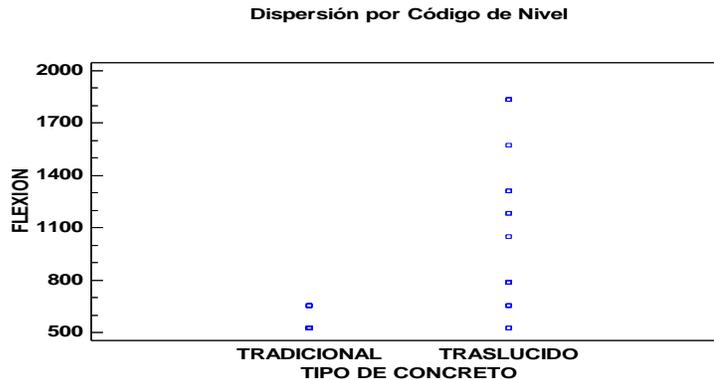
##### 5.5.4.1 INDEPENDENCIA. DE LOS VALORES DE LAS RESISTENCIA A LA FLEXION.

FIGURA 22. Muestra la independencia de los valores de resistencia a la flexión



### 5.5.4.2 HOMOCEDASTICIDAD DE LOS VALORES DE LAS RESITENCIA A LA FLEXION.

Figura 23 Dispersión por valores de flexión.



En la figura 23, se observa una mayor variabilidad de resistencia en los concretos traslucido que en los concretos convencionales; sin embargo, no hay evidencia de la heterocedasticidad.

### 5.6. EVALUACIÓN DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS.

Tal como se mostró en la tabla 36, los concretos traslucidos se dejaron rayar a los 12000 giros al ser sometidos a pruebas de desgaste en una máquina de abrasión, este comportamiento se cumplió en concretos con resistencia a la compresión de 3000 y 3500 Psi. Según la Norma UNE-EN ISO 10545-7: 1999 (anexo16), los materiales cerámicos que son rayados a 12000 revoluciones se clasifican como materiales de tráfico 4, como el tráfico cuatro se divide en los siguientes niveles, nivel 1 = 2100, nivel 2 = 6000 y nivel 3 = 12000 revoluciones, lo que clasifica al tráfico 4 en: nivel 4 bajo, nivel 4 medio y nivel 4 alto (ver tabla 46). Los concretos traslucidos frutos de esta investigación presentan un tráfico de 4, en el nivel alto. Con estas características podemos afirmar que estos concretos traslucidos se pueden aplicar en pisos con frecuencia de tránsito peatonal superior al nivel 4 medio, calzado normal y aportación de material abrasivo (por ejemplo corredores, estancias colectivas de hoteles, cocinas de restaurantes, salones de actos entre otros)

**Tabla 46. Tráficos de los materiales según Norma UNE-EN ISO 10545-7: 1999**

Resistencia a la abrasión superficial (UNE-EN ISO 10545-7: 1999)		
Nivel de Abrasión (No de Revoluciones)		Trafico
100		0
150		1
600		2
750 – 1500		3
2100 - 6000- 12000		4
Mayor a los 12000 y supera el test de resistencia a las manchas ISO 10545-14:1998		5

### 5.7. COMPARACIÓN DE LOS CONCRETOS TRASLUCIDOS FABRICADOS HASTA EL MOMENTO.

Al comparar los datos de la tabla 47, se observa que los concretos traslucidos resultados de este trabajo de investigación poseen varias similitudes con los concretos fabricados por los investigadores Aarón Losonczy, Joel Sosa y Sergio Galván, pero los concreto obtenidos en este proyecto presentan diferencias muy marcadas con los otros tipos de concretos traslucidos, pueden alcanzar resistencias a la comprensión mayores a los 4500 Psi, debido a que su fabricación es consecuencia de la aplicación de diseños de mezclas practicadas en la Ingeniería Civil.

**Tabla 47. Comparación de los concretos traslucidos fabricados hasta el momento**

LITRACOM	TRASLUCIDO MANUAL	CTS + VM
Creador: Aarón Losonczy	Creadores Joel Sosa y Sergio Galván	Creadores: Jorge Villanueva García y José Manuel Martínez Gil.
Compuesto por Hormigón tradicional más fibra óptica	Cemento blanco, agregado fino, agregado grueso, fibras, aguas, y aditivos "ilum"	agregado fino, agregado grueso, aditivo, (CTS + VM)
Pieza más grande 30x60	Pasta traslucida acoplable a volúmenes	Pasta traslucida acoplable a volúmenes.

Resistencia de 250 a 900kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia de 2500 a 4500 kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia la requerida
Peso volumétrico 2100 a 2400 kg/m <sup>3</sup>	Peso volumétrico 1900 a 2100 kg/m <sup>3</sup>	Peso volumétrico 1160 a1350 kg/m <sup>3</sup>
Permite ver reflejos de siluetas del otro lado	Permite paso de la luz hasta el 70 %	Permite ver siluetas del otro lado
Resistencia final alcanzada a los 28 días	Resistencia final alcanzada a 7 días	Resistencia final alcanzada los 4 días.

Otra diferencia es que pueden alcanzar la máxima resistencia diseñada en un tiempo de cuatro días, mientras que los otros concretos traslucidos alcanzan su máxima resistencia a los 28 y 7 días respectivamente.

## CAPITULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1 CONCLUSIONES:

La hipótesis planteada sobre la posibilidad de construir un nuevo concreto con propiedades de translucidez y que además, sus propiedades mecánicas sean mejores que las propiedades mecánicas de los concretos tradicionales, se cumplió positivamente, ya que se construyó un nuevo material tipo concreto, que debido a sus propiedades, se puede exponer como un concreto translucido, y además, sus resistencias mecánicas tanto a los esfuerzos a la compresión, como a los esfuerzos de flexión, son superiores a los valores reportados por los concretos tradicionales, según lo muestra las respectivas ANOVAS y los demás análisis estadísticos tales como las Medias por mínimos Cuadrados para las Resistencias tanto a la compresión como a la Flexión.

También es evidente que la translucidez de estos materiales se debe en gran parte a sus componentes como los son los agregados finos y agregados gruesos provenientes de desechos de vidrio reciclado y del cementante CTS, el cual no ha sido reportado en la bibliografía consultada como cementante de concreto alguno.

Los concretos translucidos obtenidos en este trabajo, transmiten la luz no importando la fuente luminosa.

Al comparar las resistencias mecánicas de los concretos tradicionales y translucidos, mediante la herramienta estadística de la ANOVA, se encuentra que los promedios de los valores de las resistencias a la compresión como a la flexión de los concretos translucidos superan a los concreto tradicionales de la siguiente forma: mientras los concretos tradicionales alcanzan sus promedios de resistencia a los siete días en un 80% de la resistencia final esperada a los 28 días, manteniendo las expectativas de este tipo de concretos. Las resistencias alcanzadas por los concretos translucidos superan las resistencias alcanzadas por los concretos tradicionales tanto a edades de 7 como de 28 días en un 70%.

En el caso de las resistencias a la compresión a los 28 días de edad, los concretos tradicionales alcanzan los resultados esperados y solo sobre pasan hasta un 10% la resistencia esperadas por el diseño, en cambio, los concretos translucidos a los 28 días superan hasta un 70% de los resultados esperados por el diseños.

En cuanto a la resistencia a la flexión, se puede observar que los concretos tradicionales, pueden bajar sus resistencia al paso de los días, así encontramos que un concreto de 7 días de edad, tiene en promedio una resistencia de 45.92

kg/cm<sup>2</sup>, pero a los 28 días de edad, su resistencia sufre una baja 42.24 Kg/cm<sup>2</sup>, en cambio los concretos traslucidos, aumentan su resistencia con la edad, llegando a superar en el doble las resistencias a la flexión de los concretos tradicionales, así un concreto traslucido puede obtener en promedio hasta 97.34 kg/cm<sup>2</sup> para una misma resistencia de diseño a la compresión, 3500 psi para una edad de 28 días.

Los concretos traslucidos al presentar porcentaje de absorción más bajo que los concretos tradicionales, absorben menos agua del medio por lo tanto incorporar menos cantidad de sales como cloruros y sulfatos, por lo tanto podemos inferir que estos concretos poseen mayor resistencia al ataque químico.

Los concretos traslucidos al presentan un contenido de agua más bajo que los concretos tradicionales, lo que implica que el fenómeno de la corrosión no ocurra u ocurra más lentamente.

Las adiciones a las mezclas de los concretos traslucidos tanto de anilina como de flúor provocan disminución de la propiedad de traslucidez. Debido a que disminuyen la fuerza de ascenso del haz de luz en los especímenes, ocasionando que la luz absorbida y transmitida por los concretos se dirija y desborden hacia donde haya menos resistencia a su movimiento, por lo tanto la traslucidez disminuye inversamente proporcional a la concentración de flúor y anilina.

Los valores de traslucidez alcanzados por los concretos traslucidos superaron en promedio los 80 lúmenes, valor que permite inferir que este material puede permitir sin mayor esfuerzos la iluminación de un recinto y realizar actividades en este lugar de estancia sin invertir en energía eléctrica.

La alta velocidad de fraguado alcanzadas por los concretos traslucidos, permite que se puedan aplicar en obras civiles y arquitectónicas, demandando menor tiempo en su aplicación y por ende menores costos administrativos en la ejecución del proyectos.

En cuanto a la resistencia a la flexión: los concretos traslucidos aumentan proporcional a la resistencia por compresión, mientras que los concretos tradicionales siguen un comportamiento inverso. Lo que convierte a los concretos traslucidos como mejor candidato para ser aplicado en obras civiles o arquitectónicas donde se necesite materiales de alta resistencia y alta flexibilidad

Los concretos traslucidos frutos de esta investigación presentan alta resistencia a la abrasión, lo cual permite ser aplicado en pisos, corredores, estancias colectivas de hoteles, cocinas de restaurantes, salones de actos entre otros.

## 6.2 RECOMENDACIONES.

La presente investigación, deja abiertas las posibilidades de seguir investigando al respecto, por lo que se propone que se profundice en los posibles usos de los concretos traslucidos, ya sean en el campo arquitectónicos o el campo estructurales, debido a que sus resistencias mecánicas superan con creces a las resistencias mecánicas de los concretos tradicionales.

Se puede desarrollar investigaciones sobre los comportamientos de los concretos traslucidos en ambientes agrestes a los concretos convencionales, lo que podría proponer cambios en las construcciones marinas y estructuras Geotécnicas de importancia para la infraestructura del país.

Las investigaciones, se pueden desarrollar en el campo de nuevos materiales, que sirvan para edificaciones institucionales de importancia, en donde se aprecie la belleza de la luz atravesando un cuerpo que lo invita a circular sin mayores oposiciones a su pasar, logrando lugares mejores iluminados y a su vez provocando ahorros en el gasto energético de la edificaciones gubernamentales e institucionales.

El investigador principal de este trabajo, se ofrece a guiar a nuevos investigadores del tema, para que el acervo ganado en esta investigación, no se pierda en los anaqueles de las instituciones que apoyaron el presente procesos de investigación, y poder conformar un gran grupo de alta calidad de investigación en el tema y poder con la ayuda de todos alcanzar una producción de concretos traslucidos que sea capaz de constituirse en un excelente negocio.

## CAPITULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Lippiatt, B., Ahmad S. Measuring the life-cycle environmental and economic performance of concrete: the BEES approach. In: Wang K, editor. International workshop on sustainable development and concrete technology. Ames: Iowa State University; 2004. p. 213–30.
- [2] Meyer, C., The Greening of the concrete industry. *Cem Concr Compos* 2009;31(8):601–5.
- [3] Malhotra, VM., Role of supplementary cementing materials in reducing greenhouse gas emissions. In: Gjorv OE, Sakai K, editors. Concrete technology for a sustainable development in the 21st century. London: E&FN Spon; 2000. p. 226–35.
- [4] Humphreys, K., Mahasenani, M., Toward a sustainable cement industry. Substudy 8: climate change. Geneva: WBCSD; 2002.
- [5] Bernstein, L., Roy, J., Delhotal, KC., Harnisch, J., Matsushashi, R., Price, L., et al. Industry. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA, editors. Climate change 2007: mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2007. p. 447–96.
- [6] Damtoft JS, Lukasik J, Herfort D, Sorrentino D, Gartner EM. Sustainable development and climate change initiatives. *Cem Concr Res* 2008;38(2): 115–27.
- [7] Huntzinger DN, Eatmon TD. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *J Clean Prod* 2009;17(7):668–75.
- [8] Hendriks CA, Worrell E, deJager D, Block K, Riemer P. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. <<http://www.wbcscement.org/pdf/tf1/prghgt42>>, [accessed 08/11].
- [9] Josa A, Aguado A, Heino A, Byars E, Cardim A. Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU. *Cem Concr Res* 2004;34(8):1313–20.
- [10] Febelcem v.z.w. Environmental report of the Belgian cement industry 2006 (in Dutch). Brussels: Febelcem v.z.w.; 2006.

- [11] Malhotra VM. Role of supplementary cementing materials and superplasticizers in reducing greenhouse gas emissions. In: Parameswaran VS, editor. Proceedings ICFRC conference on fiber composites, highperformance concrete and smart materials. New Delhi: Allied Publishers Private Limited; 2004. p. 489–99.
- [12] Price L, Worrell E, Phylipsen D. Energy use and carbon dioxide emissions in energy-intensive industries in key developing countries. In: Proceedings of the 1999 earth technologies forum. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory; 1999. 15p.
- [13] Flower DJM, Sanjayan JG. Green house gas emissions due to concrete manufacture. *Int J LCA* 2007;12(5):282–8.
- [14] Chen C, Habert G, Bouzidi Y, Jullien A. Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *J Clean Prod* 2010;18(5):478–85.
- [15] ATILH. Environmental inventory of French cement production. Paris: Association Technique des Liantes Hydrauliques (Hydraulic Binder Industries Union); 2002.
- [16] Gartner E. Industrially interesting approaches to low-CO<sub>2</sub> cements. *Cem Concr Res* 2004;34(9):1489–98.
- [17] Morbi A, Cangiano S, Borgarello E. Cement-based materials for sustainable development. In: Zachar J, Claisse P, Naik TR, Ganjian E, editors. Proceedings of Sessions in Honor of: Dr. Enrico Borgarello, Professor Theodore W. Bremner, Professor David W. Fowler, Professor Konstantin Kovler, Professor Koji Sakai. Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization; 2010. p. 1–10.
- [18] Van Oss HG, Padovani AC. Cement manufacture and the environment, part II: environmental challenges and opportunities. *J Ind Ecol* 2003;7(1):93–127.
- [19] Jacott M, Comunes F, Reed C, Taylor A, Whinfield M. Energy use in the cement industry in North America: emissions, waste generation and pollution control, 1999-2001. In: Second North American symposium on assessing the environmental effects of trade; 2003. 79p.
- [20] Houghton JT, Meira Filho LG, Lim B, Tréanton K, editors. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, greenhouse gas inventory reference manual, vol. 3. Bracknell: Meteorological Office; 1996.

- [21] Schuhmacher M, Domingo JL, Garreta J. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environ Res* 2004;95(2):198–206.
- [22] EPA. Emission factor documentation for AP-42, section 11.6: Portland cement manufacturing, final report, EPA Contract 68-D2-0159, MRI Project No. 4601- 01; 1994.
- [23] EPA. Management standards proposed for cement kiln dust waste. Environmental Fact Sheet, EPA 530-F-99-023, 1999.
- [24] Feuerborn HJ. Coal combustion products and sustainability – present and future situation in Europe. In: Zachar J, Claisse P, Naik TR, Ganjian E, editors. Proceedings of the second international conference on sustainable construction materials and technologies. Volume two of three. Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization; 2010. p. 897–908.
- [25] PCA. Cement shortage assessment the monitor, flash report: breaking analysis of the economy, construction, and cement industries; May 13, 2004.
- [26] NBN EN 206-1. Concrete – part 1: specification, performance, production and conformity. Brussels: European Committee for Standardization; 2000.
- [27] NBN B15-001. Supplement to NBN EN 206-1 – concrete – specification, performance production and confirmity. Brussels: BIN; 2004.
- [28] Malhorta VM, Mehta PK. High performance, high-volume fly ash concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories. 2nd ed. Ottawa: Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.; 2005.
- [29] NBN B15-100. Methodology for the assessment and the validation of the fitness for use of cements or additions of type II for concrete. Brussels: NBN; 2008.
- [30] Vollpracht A, Brameshuber W. Performance-concept, k-value approach – which concept offers which advantages? In: Brameshuber W, editors. Proceedings of the international RILEM conference on material science (MatSci). Additions Improving Properties of Concrete (AdIPoC), vol. III. Bagnaux: RILEM Publications; 2010. p. 403–11.
- [31] Energetics Incorporated. Energy and environmental profile of the US iron and steel industry. Prepared for US Department of Energy, Office of Industrial Technologies. DOE/EE-0229; 2000.
- [32] Spath PL, Mann MK, Kerr DR. Life cycle assessment of coal-fired power production. Golden: National Renewable Energy Laboratory; 1999.

- [33] Mehta PK. Concrete technology for sustainable development – overview of essential elements. In: Gjørsvik OE, Sakai K, editors. Concrete technology for a sustainable development in the 21st century. London: E&FN Spon; 2000. p. 83–94.
- [34] NEN 7345. Leaching characteristics of solid earthy and stony building and waste materials. Leaching tests. Determination of the leaching of inorganic components from building and monolithic waste materials with the diffusion test. Delft: NEN;1995.
- [35] European Union. Directive 1998/83/EC of the European parliament and the council of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Off J Eur Union 1998;L330:32–54.
- [36] NBN EN 197-1. Cement – part 1: composition, specifications and conformity criteria for common cement. Brussels: BIN; 2000.
- [37] Marion AM, De Lanève M, De Grauw A. Study of the leaching behaviour of paving concretes: quantification of heavy metal content in leachates issued from tank test using demineralized water. Cem Concr Res 2005;35(5):951–7.
- [38] Kovler K, Perevalov A, Steiner V, Metzger LA. Radon exhalation of cementitious materials made with coal fly ash: part I – scientific background and testing the cement and fly ash emanation. J Environ Radioact 2005;82(3):321–34.
- [39] Smakhtin V. Basin closure and environmental flow requirements. Int J Water Resour D 2008;24(2):227–33.
- [40] WFN (Water Footprint Network). Glossary, water footprint. <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/DefinitionWaterFootprint>>, [accessed 08/11].
- [41] Lafarge. Water and building materials. How much water for each material? <[http://www.lafarge.com/wps/portal/2\\_3\\_5-Preserver\\_eau#editoEncartVide000000000028722](http://www.lafarge.com/wps/portal/2_3_5-Preserver_eau#editoEncartVide000000000028722)> [accessed 08/11].
- [42] Ridoutt BG, Pfister S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. Glob Environ Change 2010;20(1):113–20.
- [43] EFCA. EFCA Environmental declaration superplasticizing admixtures. EFCA doc 325 ETG. <<http://www.efca.info/publications.html>>, 2006 [accessed 08/11].
- [44] Vyncke J, Vrijders J. Recycling of C & D Waste in Belgium: State-of-the-Art and Opportunities for Technology Transfer. In: Zachar J, Claisse P, Naik TR, Ganjian E, editors. Second international conference on sustainable construction

materials and technologies. Proceedings of sessions in honor of: Dr. Enrico Borgarello, Professor Theodore W. Bremner, Professor David W. Fowler, Professor Konstantin Kovler, Professor Koji Sakai. Milwaukee: UWM Center for By-Products Utilization; 2010. p. 191–201.

[45] Vrijders J, Desmyter J. Stimulating a high-quality use of recycled aggregates. PA/AVP-AD/0702 (in Dutch). A study conducted by the Belgian Building Research Institute (WTGB) for the Public Waste Agency of Flanders (OVAM); September 2008.

[46] Habert G, Bouzidi Y, Chen C, Jullien A. Development of a depletion indicator for natural resources used in concrete. *Resour Conserv Recy* 2010; 54(6): 364–76.

[47] Guinée JB, editor. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2002.

[48] Steen B. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). 2000-general system characteristics and 2000- models and data. CPM Report: 1999, 4–5. Gothenburg: Chalmers University of Technology; 1999.

[49] Actualización del reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10. Decreto número 926. República de Colombia 19 de marzo de 2010.

[50] Hag-Elsafi O, Alampalli S, Kunin J. Application of FRP laminates for strengthening of a reinforced concrete T-beam bridge structure. *Compos Struct* 2001;52(3–4):453–66.

[51] Quattlebaum JB, Harries KA, Petrou MF. Comparison of three flexural retrofit systems under monotonic and fatigue loads. *J Bridge Eng* 2005;10(6): 731–40.

[52] Pantelides CP, Duffin JB, Reaveley LD. Seismic strengthening of reinforced concrete multicolumn bridge piers. *Earthquake Spectra* 2007;23(3): 635–64.

[53] Rizkalla S, Rosenboom O, Hassan TK. Flexural behavior of aged prestressed concrete girders strengthened with various FRP systems. *Constr Build Mater* 2007;21(4):764–76.

[54] Alampalli S. Effectiveness of FRP materials with alternative concrete removal strategies for reinforced concrete bridge column wrapping. *Int J Mater Prod Technol* 2005;23(3–4):338–47.

[55] Kurtz S, Balaguru P. Comparison of inorganic and organic matrices for strengthening of RC beams with carbon sheets. *J Struct Eng* 2001:35–42.

- [56] Barnes RA, Baglin PS, Mays GC, Subedi NK. External steel plate systems for the shear strengthening of reinforced concrete beams. *Eng Struct* 2001;23: 1162–76.
- [56] Taljsten B, Elfgren L. Strengthening concrete beams for shear using CFRP materials: evaluation of different application methods. *Composites: Part B*. 2000;31:87–96.
- [57] Fam AZ, Rizkalla SH. Behavior of axially loaded, concrete-filled, circular fiberreinforced polymer tubes. *ACI Struct J* 2002;98(3):123–32.
- [58] Vijay PV, GangaRao HVS. Bending behavior and deformability of glass fiberreinforced polymer reinforced concrete members. *ACI Struct J* 2001;98(6): 834–42.
- [59] Aboutaha RS, Wattanadechachan P, Kim SH. Flexural ductility of CFRP strengthened concrete beams – experimental investigation. Document, vol. 213. American Concrete Institute (ACI) Special Publication SP 213-12; 2003.
- [60] Sen R, Shahawy M. Accelerated bond and durability testing of FRPs for bridge applications, vol. 143. American Concrete Institute (ACI) Special Publication SP 143-16; 1994.
- [61] Papakonstantinou CG, Petrou MF, Harries KA. Fatigue behavior of RC beams strengthened with GFRP sheets. *ASCE J Compos Constr* 2001;5(4):246–53.
- [62] Papakonstantinou CG, Balaguru PN, Petrou MF. Analysis of reinforced concrete beams strengthened with composites subjected to fatigue loading. *Concrete: material science to application*. Detroit: American Concrete Institute (ACI) Special Publication SP 206-3; 2002. p. 41–60.
- [63] Buyukozturk O, Gunes O, Karaca E. Progress on understanding debonding problems in reinforced concrete and steel members strengthened using FRP composites. *Constr Build Mater* 2004;18(1):9–19.
- [64] Yost JR, Gross SP, Dinehart DW. Flexural stiffness of high strength concrete beams reinforced with GFRP bars, vol. 210. American Concrete Institute (ACI) Special Publication SP210-10; 2003.
- [65] Campbell FC. Manufacturing technology for aerospace structural materials. *Polymer Matrix Compos*. Elsevier Publishing; 2006 [Chapter 7]. p. 273–368.
- [66] Marcus SA. New developments in vacuum-bag forming. *Adv Mater Proc* 1987;131(6):33–9.

- [67] May CA. Epoxy resins. Engineered materials handbook, vol. 1. Ohio: American Society of Metals; 1987. p. 66–77.
- [68] Messer, P. F., Capoglu, A., Jafari, M., Mohd Noor, A. F., and Okojie, H. E., Whiteware Ceramic Compositions, US Patent 5 716 894. 21 August 1998.
- [69] Aguilar Mundaca, R. P., DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS NANOMOLÉCULAS DE SÍLICE EN EL CONCRETO FRENTE A UN FACTOR QUE AFECTA SU DURABILIDAD, Tesis para optar al título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles, Valdivia - Chile 2007.
- [70] SANCHEZ DE GUZMAN, Diego., Tecnología Del Concreto Y Del Mortero, Bahndar Ediciones, 5ta edición, 2001.
- [71] Código 318 ACI, Requisitos de reglamento para concretos estructural (ACI 318S-08)
- [72] NSR - 10
- [73] Martínez, A., Fontao, I., López, A., López, S., Sansz, N., Rubiera, N., *Geogacenta*, 20, 2006, 723-726
- [74] Papanicolaou, F., Antoniou, S., Pashalidis, I., *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, 2009, 854-857.
- [75] Tabla relacion entre las etapas de hidratación del cemento portatland
- [76] Altun, A., Sert, Y., *Cement and Concrete Research*, 34, 2004, 677-680
- [77] Torres, J., Baquero, E., Silva, A., *Dyna* 158, 2009, 49-53
- [78] Rossell, M., Gayoso, R., Calvo, B., Zeolita como aditivo mineral activo en Hormigones de altas prestaciones. Boletín Geológico y Minero 117(4): 783-792, 2006, ISSN 0366-0176.
- [79] Fernández, L., Vázquez, E., *Universitat Politècnica de Catalunya*, 804, 2008, 1-3
- [80] Vagn, C., Waldemar, A., Peter, C., *ACI Concrete International*, 9, 2002, 23-37.
- [81] Potgieter, J., Potgieter, S., McCrindle, R., Strydom, C., *Cement and Concrete Research*, 33, 2003, 1223-12.
- [82] Mehta, P., Brady, J., *Cement and Concrete Research*, 7, 1997, 537-54.

- [83] Estrada, M., Alonso, E., Chávez, E., Chávez, L., Martínez, W., Rubio, J., Velasco, F., Ávalos, M., *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 65, 2005, 1-15
- [84] Aizenberg, J., "Crystallization in Patterns: A Bio-Inspired Approach"., *Advanced Materials*, 2004, 16,1295-1302
- [85] Messer, P. F., Hand, R. J., West, S, Capoglu, A., Batista, S., Kiang, M. K., and Wong, S.-H., Design and development of a low-clay translucent tableware for severe service conditions. In *British Ceramic Proceedings of the 6th Conference & Exhibition of the European Ceramic Society*, Brighton, Vol. 60, 1999, pp 347–348.
- [86] Agbarakwe, U. B., Banda, J. S. and Messer, P. F., Non-uniformities and pore formation. *Materials Science and Engineering, A*, 1989, 109, 9–16.
- [87] Cubbon, R. C. P., Roberts, W., Camm, J. and Walters, W. L., Clay particle orientation effects in whiteware bodies. *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 1986, 7(11–12), 1213–1223.
- [88] Rado, P., *Bone China, Ceramic Monographs, Handbook of Ceramics*. Verlag Schmid GmbH, Freiburg i. Brg, 1981.
- [89] Dinsdale, A., *Pottery Science, Materials, Process and Products*. Ellis Horwood Limited, Chichester, 1986.
- [90] Wood, R.K., *Ceramic Whiteware, Ceramics and Glasses, Engineered Materials Handbook*. ASM International, 1991 4, pp. 930–936.]
- [91] Batista, S. A. F., Messer, P. F. and Hand, R. J., Fracture toughness of bone china and hard porcelain. *British Ceramic Transactions*, 2001, 10(6), 256–259.
- [92] T. Misawa, Y. Moriyoshi, Y. Yajima, S. Takenouchi, T. Ikegami, *J. Ceram. Soc. Jpn.* 107 (4) (1999) 343–348.
- [93] M.H. Leipold, T.H. Eielson, *J. Am. Ceram. Soc.* 51 (2) (1968) 94– 97.
- [94] R.W. Rice, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 41 (4) (1962) 271.
- [95] W.H. Rhodes, D.J. Sellers, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 46 (4) (1967) 469.
- [96] P.E. Hart, R.B. Atkin, J.A. Pask, *J. Am. Ceram. Soc.* 53 (2) (1970) 83– 86.
- [97] Fenner, C., Die Stabilitätsbeziehungen der Kieselsäureminerale. *Z. Anorg.allg. Chem.* 85 (1914) 193- 197.
- [98] Zachariasen, W. H. The atomic arrangement in glass. *J. Amer. Chem. Soc.* 54 (1932) 10, 3481-3451

[99] Gilson, D. F. R., Order and disorder and Entropies of fusion, en J. Chem. Ed. 69, No.1, pp.23- 24 (1992).

[100] Angell C. A: "GLASS," in *1994 Yearbook of Science and Technology*, (Sybil Parker, Ed.) (McGraw-Hill, Inc., New York, 1994), pp. 193-195.

[101] Jacob S., J. Javornizky, G. H. Wolf and C. A. Angell, : "Oxide ion conducting glasses: Synthetic strategies based on liquid state and solid state routes" Intern. J. of Inorg. Materials 3, 241-251 (2001).

[102] Fernández Navarro J. M., El Vidrio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. PP. 64-73, 140, 141, 334, Madrid, (1991).

[103] Rosenthal A. B., Garofalini S. H., Structure of amorphous Na<sub>2</sub>O- ZnO- 3SiO<sub>2</sub>. J. Non-Cryst. Sol. V.92, No.2-3, (July 1987), pag.354- 362

[104] Clyne, T. W: Encyclopedia of Materials: Science and Technology § 3.7.17 "Composites", A. Mortensen (ed), Elsevier (2001)

[105] Wilburn, F. W.; Thomason, C. V.; Cole, H. The application of differential thermal analysis (D.T.A) and thermo gravimetric analysis (T.G.A) to the study of glass- melting reaction. Sympos sur la fusión du verre, Bruxelles, pp. 373- 381. Edit. Unión Scientifique Continentale du Verre, Charleroi, (1958).

## **8 ANEXOS**

**ANEXO 1. NSR 10**

**ANEXO 2. NTC 163**

**ANEXO 3. NTC 1377**

**ANEXO 4. NTC 226**

**ANEXO 5 NTC 237**

**ANEXO 6 NTC 176**

**ANEXO 7 NTC 77**

**ANEXO 8 ACI 211**

**ANEXO 9 NTC 92**

**ANEXO 10 NTC 221**

**ANEXO 11 NTC 220**

**ANEXO 12 NTC 111**

**ANEXO 13 NTC 120**

**ANEXO 14 NTC 110**

**ANEXO 15 NTC 673**

**ANEXO 16 UNE ISO 10542-7. 1999.**