

**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO, EN LA
FLEXION Y TRACCION INDIRECTA DEL CONCRETO HIDRAULICO,
CON UNA RELACION AGUA CEMENTO DE 0.65**

HECTOR JAIME ARROYABE BETANCUR

**UNIVERSIDAD GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.
MAYO DE 2014**

**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGRAGADO RECICLADO, EN LA
FLEXION Y TRACCION INDIRECTA DEL CONCRETO RECICLADO, CON UNA
RELACION AGUA CEMENTO DE 0.65**

HECTOR JAIME ARROYABE BETANCUR

Trabajo de grado presentado para optar al título de ing. civil

**Asesor disciplinar
Lucio LopezYepez, i.c.
Asesor metodológico
Roy Morales Perez, lic.**

**UNIVERSIDAD GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, D.C.
MAYO 2014**

TITULO

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO, EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y TRACCIÓN INDIRECTA DEL CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN AGUA CEMENTO DE 0,65.

AUTOR

Héctor Jaime Arroyabe Betancur

TUTORES DEL PROYECTO

Ing. Lucio López Yepez

Lic. Roy Morales Perez.

LUGAR DE ELABORACION

Departamento: Cundinamarca.

Ciudad/Año: Bogotá D.C./ 2014.

Entidad: Universidad la Gran Colombia.

LINEA DE INVESTIGACION.

Edificaciones y obras civiles con tecnología apropiada para la reducción de la vulnerabilidad y mejoramiento de la calidad de vida: EDOC – UGC.

PALABRAS CLAVE

Agregados, concreto, cemento, cilindros, curado, flexión, microsilice, reciclado, resistencia, tracción, sustitución, viguetas, relación.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	8
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.	ANTECEDENTES	10
4.	OBJETIVOS.....	17
3.1.	Objetivo general.....	17
4.2	. Objetivos específicos	17
4.	HIPOTESIS.....	17
5.	JUSTIFICACION	18
6.	MARCO REFERENCIAL	19
6.1.	MARCO CONCEPTUAL	19
6.1.1.	Concreto.....	19
6.1.2.	Cemento.....	19
6.1.3.	Agua	19
6.1.4.	Agregados pétreos	20
6.1.5.	Tracción indirecta.....	21
6.1.6.	Flexión o módulo de rotura.....	22
6.2.	MARCO LEGAL	25
7.	MATERIALES.....	28
7.2.	Cemento portland tipo 1	28
7.3.	agregado grueso de cantera:.....	29
7.3.2.	Granulometría	29
7.4.	Agregado Grueso Reciclado.....	30
7.5.	Agregado Fino	31
7.5.2.	Granulometría	31
7.6.	MICROSILICE (EUCON MSA 100P) Humo de sílice con aditivo plastificante para concreto de alto desempeño	33
7.7.	Agua	33

8. MARCO METODOLOGICO.....	34
8.1. FASE 1: Producción de probetas.....	34
8.1.1 Elaboración del diseño de mezcla.....	34
8.1.2. Preparación del concreto	42
8.2. FASE 2: Determinación de la resistencia a la flexión de las viguetas de concreto	45
8.3. FASE 3:Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de los cilindros de concreto.	46
8.4. FASE 4: Resultados y análisis de resultados.....	47
8.4.1. Resistencia a la tracción indirecta vs Porcentaje de adición de agregado reciclado.	48
8.4.2. Resistencia a la Flexión vs Porcentaje de adición de agregado reciclado.	48
9. RESULTADOS	49
9.1. Resistencia a la tracción indirecta	49
9.2. Resistencia la flexión.	53
10. CONCLUSIONES	57
11. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA.....	60

Tabla de tablas

Tabla 1. Resistencias a la tensión de los concretos	11
Tabla 2. Resistencia a la flexión de los concretos.....	13
Tabla 3. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado grueso.	15
Tabla 4. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado fino.....	15
Tabla 5. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) de los Naturales.....	16
Tabla 6. Marco Legal	25
Tabla 7. Especificaciones del cemento portland	28
Tabla 8. Granulometría agregado grueso	29
Tabla 9. Otras Características del Agregado grueso	30
Tabla 10. Características del agregado grueso reciclado.....	31
Tabla 11. Granulometría del agregado fino.....	31
Tabla 12. Otras características del agregado fino.	32
Tabla 13. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 0% De Agregado Reciclado.....	36
Tabla 14. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 10% De Agregado Reciclado.....	37
Tabla 15. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 20% De Agregado Reciclado.....	38
Tabla 16. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 30% De Agregado Reciclado.....	39
Tabla 17. Diseño de mezcla para una relación agua cemento de 0,65 con 30% de agregado reciclado + 5% de microsilice.....	40
Tabla 18. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 30% De Agregado Reciclado + 10% de microsilice.	41
Tabla 19. Resistencia a la tracción indirecta.....	49
Tabla 20. Variación de la Resistencia de las muestras curadas frente a las muestras no curadas	49
Tabla 21. Influencia del porcentaje de agregado reciclado y el microsilice en la resistencia a la tracción indirecta.	49
Tabla 22. Resistencia ala flexión.	53
Tabla 23. Variación de la Resistencia de las muestras curadas frente a las muestras no curadas	53

Tabla 24. Influencia del porcentaje de agregado reciclado y el microsilice en la resistencia a la tracción indirecta.	53
--	----

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Criterio de dosificación de las mezclas de concreto.	10
Ilustración 2. Resistencias a la tensión alcanzados	12
Ilustración 3. Resistencias a la flexión alcanzadas	14
Ilustración 4. Vista esquemática del aparato apropiado para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios.	22
Ilustración 5. Matris de trabajo	35
Ilustración 6. Pesar los materiales	42
Ilustración 7. Mezclar los materiales	42
Ilustración 8. Construir las vigetas	43
Ilustración 9. Construir los cilindros	43
Ilustración 10. Fraguado de las probetas	44
Ilustración 11. Curado de las probetas	44
Ilustración 12. Probetas para flexion	45
Ilustración 13. Ensayo de flexion	45
Ilustración 14. Ensayo de traccion indirecta	46
Ilustración 15. Ubicación de la probeta	47
Ilustración 16. Probeta despues de la falla	47

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistencia a la tensión indirecta del espécimen.	21
Ecuación 2. Módulo de rotura para ensayo a flexión cuando la falla ocurre en el tercio medio	23
Ecuación 3. Módulo de Rotura para ensayo a flexión cuando la falla ocurre por fuera del tercio medio	23

TABLA DE GRAFICAS

Grafica 1. Resistencia a la tracción indirecta en muestras no curadas.	50
Grafica 2. Resistencia a la tracción indirecta muestra curada	51
Grafica 3. Resistencia tracción indirecta	52
Grafica 4. Resistencia a la flexión muestra no curada.	54
Grafica 5. Resistencia a la flexión muestra curada.	55
Grafica 6. . Resistencia a la flexión.	56

1. INTRODUCCION.

Los escombros de construcción constituyen un porcentaje importante de los desechos en Colombia, por ello nace la necesidad de buscar alternativas en las cuales estos escombros puedan ser utilizados. Una de ella es la utilización de estos escombros de construcción en la producción de concretos de alta resistencia. Mitigando así el alto impacto ambiental que estos causan, para llegar a implementar estos concretos en la práctica es necesario realizar estudios como el desarrollado en esta investigación la cual consiste en comparar las resistencias de probetas construidas con agregado reciclado y probetas construidas con agregados convencionales, para lograr de esta manera una correlación de variables que establezca la influencia del porcentaje de agregado reciclado en las propiedades mecánicas del concreto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento global ha generado en el mundo un desarrollo acelerado de la infraestructura y por ende de la industria de construcción para la realización de estructuras cada vez más complejas que suplan las necesidades de los consumidores finales. Esto a su vez ha originado un crecimiento en la demanda de agregados de origen pétreo lo que genera un gran impacto ambiental ya que la principal forma de obtenerlos es a través de la explotación minera. Solo en Colombia “de acuerdo a un estudio sobre el sector de los materiales de construcción, realizado por Fedesarrollo en el año 2006, indica que entre los años 1994 a 2001 el consumo anual de agregados pétreos se encontraba entre 32,5 millones y 57,2 millones de metros cúbicos¹”.

Otro punto a considerar es la gran cantidad de escombros producidos por la industria de la construcción, que han generado un gran problema ambiental en las ciudades.² “Estudios realizados en Hong-Kong muestran que el 55% de los escombros generados en la industria de construcción son hormigón armado y sin armar situación que genera una gran cantidad de materia prima para ser utilizada en nuevas construcciones”. En Colombia no existe un estudio actual que registre cantidades exactas de escombros de construcción y su composición, sin embargo en ciudades industrializadas como Bogotá se empieza a ver reflejado el problema a través del manejo ilegal o indebido de estos escombros.

En este proyecto se plantea la utilización de agregados reciclados obtenido a partir de concreto reciclado. Aunque en algunos países se han desarrollado estudios sobre dicho tema, cabe resaltar que estos estudios deben considerar la particularidad de cada país ya que en cada uno de ellos varía el modelo constructivo, la obtención de los agregados y las características de los mismos.

Sin embargo se hace necesario la incorporación de concretos que contengan materiales reciclados que cumplan propiedades mecánicas tales como la flexión y

¹ Aguilar Camila, Leon Nicolas y Mendez marcela. El sector de construcción en Bogota Cundinarmaca informe final marzo de 2006
[Citado en línea]

² <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8508/1/00.pdf>

[Citado el 19 de mayo del 2014]

la tracción indirecta estipulados en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente que rige actualmente las construcciones civiles en Colombia.

Es importante encontrar la resistencia a la tracción indirecta y a la flexión ya que estas representan la falla por cortante y por momento respectivamente, en losas y vigas de concreto sin refuerzo.

En tal sentido, presente investigación busca dar respuesta a la siguiente pregunta ¿Cuál es la influencia del porcentaje de agregado reciclado, en la flexión y tracción indirecta del concreto reciclado, con una relación agua cemento de 0.65?

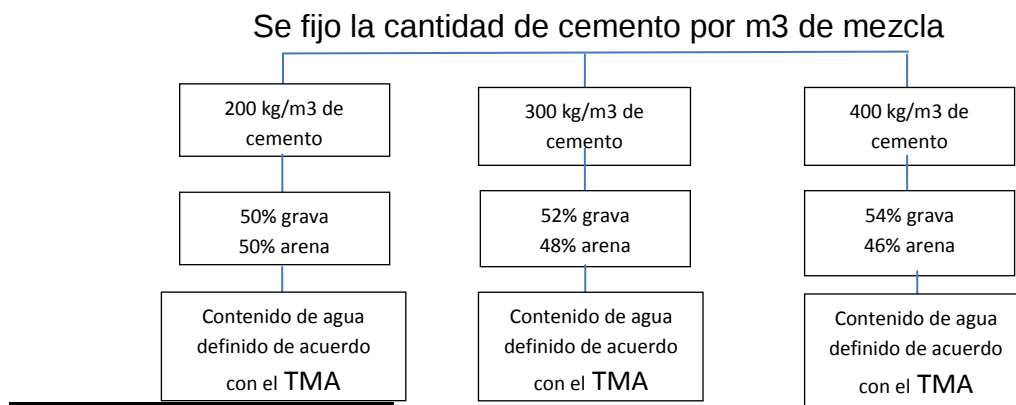
3. ANTECEDENTES

En los últimos años se han realizado estudios, para determinar las propiedades de concretos hidráulicos preparados con materiales innovadores y/o reutilizados, entre los cuales encontramos los siguientes:

2.1.1 El estudio realizado por Martínez y Mendoza³En la Universidad Nacional Autónoma de México, se realizó un Estudio titulado; Comportamiento Mecánico del Concreto Fabricado con Agregados Reciclados. Dicho estudio consistía en la evaluación de las propiedades del concreto fabricado con desperdicios de una planta productora de concreto en la ciudad de México D.F. En este estudio se evaluaron propiedades mecánicas tales como: Revenimiento, Peso volumétrico fresco, Contenido de Aire, Resistencia a la compresión, Resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad.

Para la preparación de la mezcla utilizada para dicho estudio, se presenta en la

Ilustración 1. Criterio de dosificación de las mezclas de concreto.



³I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. En: Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2006, Vol. 7 N.3, [en línea] <http://goo.gl/7iU2x> [Citado el 15 de abril de 2014]

Fuente. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados.⁴

Las mezclas resultantes de esta dosificación fueron nombradas de la siguiente manera: las mezclas realizadas con agregados de caliza natural fueron nombrados: CN 200, CN 300 y CN 400 y los fabricados con agregados reciclados, fueron nombrados CR 200, CR 300 y CR 400, respectivamente.

Una vez realizados los ensayos de tensión o tracción indirecta, los resultados obtenidos fueron consignados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Tabla 1. Resistencias a la tensión de los concretos

Mezcla	Resistencia a la tension (ft) (Kg/cm2)	Concreto clase	
		1 1.5 x (fc)^(1/2)	2 1.2 x (fc)^(1/2)
CN 200	17,23	20,58	16,46
CR 200	16,55	20,43	16,34
CN 300	26,3	26,28	21,02
CR 300	24,23	26,01	20,81
CN 400	28,04	29,46	23,57
CR 400	23,63	28,47	22,78

Fuente: Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados.⁵

El análisis realizado con los datos anteriores fue el siguiente: “Al representar en una gráfica los valores obtenidos y los establecidos en el reglamento como tendencias centrales, se puede observar que los concretos reciclados pueden considerarse dentro de la clasificación para concretos clase dos, mientras que los naturales como concretos clase uno”⁶, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF) - México, el concreto clase uno alcanza

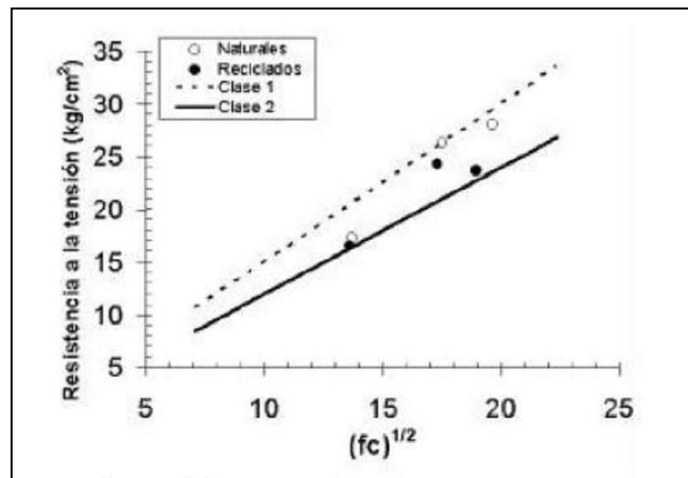
⁴I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. En: Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2006, Vol. 7 N.3 , [en línea] <http://goo.gl/7iU2x> [Citado el 15 de abril de 2014]

⁵Ibíd.

⁶Ibíd.

Resistencias mayores o iguales que 250 y menores que 400 Kg/cm², este es utilizado para construir elementos estructurales, tales como columnas y vigas, a su vez también se utiliza para construir elementos de cimentación como zapatas y pilotes. Los resultados se presentan en la siguiente ilustración.

Ilustración 2. Resistencias a la tensión alcanzados



Fuente: I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Figura 8, Resistencias a la tensión alcanzadas.

Para los ensayos realizados a flexión, se obtuvieron los resultados mostrados en la

Tabla 2. Resistencia a la flexión de los concretos

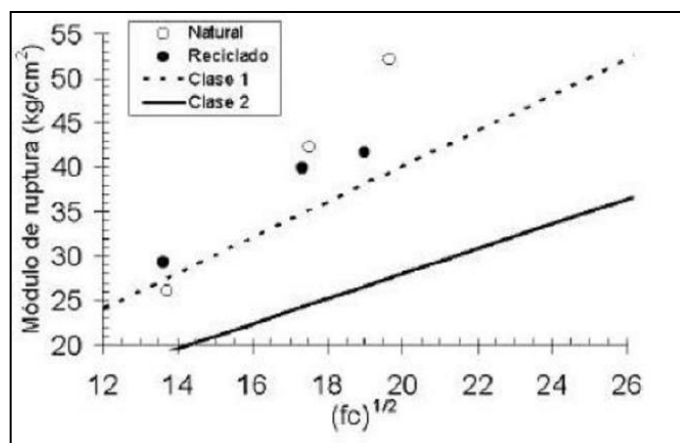
Mezcla	Resistencia a la tension (ft) (Kg/cm2)	Concreto clase	
		1 2.0 x (fc)^(1/2)	2 1.4 x (fc)^(1/2)
CN 200	26,11	27,44	19,21
CR 200	29,26	27,24	19,07
CN 300	42,22	35,03	24,52
CR 300	39,89	34,68	24,28
CN 400	52,11	39,27	27,49
CR 400	41,58	37,97	26,58

Fuente: Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados.⁷

El análisis realizado con los datos anteriores fue el siguiente: “Como se observa en la tabla anterior, nuevamente los concretos reciclados presentaron valores menores que los que alcanzaron los concretos naturales, a excepción del CR200 que fue mayor que su homólogo natural. Sin embargo, los valores que alcanzaron todas las mezclas de concreto estudiadas tienen líneas de tendencia que caben dentro de la clasificación de concretos clase uno en ambos tipos de concretos como se aprecia en la siguiente ilustración.

⁷I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. En: Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2006, Vol. 7 N.3 , [en línea] <http://goo.gl/7iU2x> [Citado el 15 de abril de 2014]

Ilustración 3. Resistencias a la flexión alcanzadas



Fuente: I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Figura 9, Resistencias a la flexión alcanzadas⁸

Con la realización de este estudio se pudo concluir lo siguiente: “Los resultados experimentales mostraron que el comportamiento del concreto con agregados reciclados es similar al del concreto con agregados naturales, lo que sugiere que puede ser utilizado como un concreto clase dos, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF).”⁹

2.1.2 Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos – Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga¹⁰ En la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, se realizó un estudio titulado Utilización de agregados no convencionales para la fabricación de concretos ecológicos. Dicho estudio consistía en la evaluación de la

⁸ I.E. Martínez-Soto Y C.J. Mendoza-Escobedo. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. En: Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2006, Vol. 7 N.3 , [en línea] <http://goo.gl/7iU2x> [Citado el 15 de abril de 2014]

⁹ Ibíd.

¹⁰ GUZMAN María Fernanda, PEREZ. Diego Darío Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos. En: Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. 2011. P. 552 [En línea] <http://goo.gl/11599> [Citado 15 de abril de 2014]

resistencia la compresión de un concreto fabricado con materiales reutilizados que se detallan a continuación: escombros que provenían de los residuos de concreto, mortero y mampostería (ladrillo) y Limalla que básicamente es desperdicio que resulta de los diferentes procesos que realiza la industria del acero, para procesar sus productos. En este caso el escombros fue utilizado como agregado grueso y la limalla como agregado fino.

La metodología utilizada para el presente estudio fue la siguiente: se dosificaron ocho mezclas cada una con dieciocho especímenes de concreto. Luego de realizar el ensayo a la resistencia a la compresión de las muestras preparadas teniendo en cuenta los parámetros anteriormente descritos para el diseño de mezcla y a su vez teniendo en cuenta los estándares establecidos por la NTC 673, se obtuvieron los resultados que se muestran en las tablas 3,4 y 5.

Tabla 3. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado grueso.

Mezcla	Arena	Triturado	Ladrillo grueso	Escombros	Resistencia kg/cm2
1	30	60	10		169,92
2	20	70		10	153,97
3	40	50		10	223,56
Testigo	40	60			200,68

Fuente: Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos.¹¹

Tabla 4. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) del agregado fino.

Mezcla	Arena	Triturado	Ladrillo fino	Resistencia kg/cm2
4	30	60	10	169,92
Testigo	40	60		200,68

¹¹ Ibíd.

Fuente: Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos.¹²

Tabla 5. Mezclas preparadas con agregados no convencionales como proporción (%) de los Naturales.

Mezcla	Arena	Triturado	Limalla	Escombros	Resistencia kg/cm2
5	40	44	6	10	302,09
6	40	44	6	10	297,8
7	23	61	6	10	306,74
Testigo	40	60			200,68

Fuente: Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos.¹³

Como resultado de este estudio se pudo determinar qué: “El comportamiento mecánico de las mezclas confirmó que proporciones del 23% de agregado fino, 61% de agregado grueso, 10% de escombros y 6% de limalla presentaron resistencias superiores a las resistencias obtenidas en mezclas sin agregados no convencionales (Testigo)”¹⁴

A su vez, se determinó que en cuanto a la calidad de los agregados no convencionales (escombros y limalla), y su resistencia mecánica, presentan características iguales o superiores a las que presentan los materiales convencionales, es por esto que se hace factible la utilización de estos agregados de una manera más industrializada.

¹² GUZMAN María Fernanda, PEREZ. Diego Darío Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos. En: Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental_2011. P. 552 [En línea] <http://goo.gl/11599> [Citado 15 de abril de 2014]Pág. 553

¹³ Ibid.

¹⁴ GUZMAN María Fernanda, PEREZ. Diego Darío Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos. En: Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental_2011. P. 552 [En línea] <http://goo.gl/11599> [Citado 15 de abril de 2014]

4. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Identificar cual es la Influencia del porcentaje de agregado reciclado, en la flexión y tracción indirecta del concreto hidráulico, con una relación agua cemento de 0.65

4.2. Objetivos específicos

- 3.2.1.** Realizar el diseño de mezcla para evaluar las propiedades mecánicas de concreto hidráulico con agregado reciclado.
- 3.2.2.** Determinar la resistencia a flexión del concreto fabricado con agregado reciclado para una relación agua cemento de 0.65.
- 3.2.3.** Determinar la resistencia a tracción indirecta del concreto fabricado con agregado reciclado para una relación agua cemento de 0.65.

4. HIPOTESIS

La sustitución de agregado pétreo por agregado reciclado en (10%, 20% y 30%) y micro sílice como adición en (5% y 10%), aumenta la resistencia a la flexión y tracción indirecta del concreto hidráulico.

5. JUSTIFICACION

La utilización y consumo de agregados pétreos en un país es un indicador muy preciso de desarrollo y economía del mismo, ya que a partir de estos agregados se construyen obras de infraestructura tales como vías, puertos etc., que se convierten a su vez en fuentes de ingreso. La falta de estos materiales podría desenvolver en el país una etapa de estancamiento o retroceso ya que sin estos materiales no se podría mejorar o renovar la infraestructura existente, evitando así que se pueda competir en un mercado globalizado.

Por estos motivos, es necesario proponer y promover el uso de materiales alternativos que cumplan y suplan las características y propiedades que presentan los agregados de tipo pétreo. Para lograr la incorporación y uso en masa de agregados extraídos de escombros de construcción es necesario realizar pruebas y ensayos como los propuestos en este trabajo que garanticen a los consumidores las propiedades mecánicas de un concreto que contenga materiales de este tipo.

Adicionalmente el desarrollo de este trabajo impulsaría en gran manera la utilización de agregados reciclados a partir de escombros de construcción, lo que significaría un gran aporte a la solución del problema relacionado con la escasez de agregado de origen pétreo, además de esto contribuiría a la solución de los problemas ambientales que genera la obtención y el manejo de estos materiales, ya que no sólo genera problemas la explotación para la obtención de este, sino también el manejo en la etapa que se convierte en escombros o desperdicio de construcción, ya que son finalmente dispuestos de manera incorrecta en botaderos, humedales y ríos etc., causando daños irreversibles en el medio ambiente.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. MARCO CONCEPTUAL

6.1.1. Concreto

Se define en primera medida como una roca artificial. Esta roca artificial es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (cemento), con arena, grava y agua, adicionalmente en algunos casos es agregado a esta mezcla aditivos con el fin de mejorar las propiedades físicas y químicas de este.¹⁵

6.1.2. Cemento

El cemento portland es un alumino silicato de calcio, patentado por J Áspid en 1824 y denominado portland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento de una mezcla de minerales finamente molidos formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100m de largo.¹⁶

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- Explotación de materias primas
- Preparación y dosificación de materias primas
- Homogeneización
- Clinkerización
- Enfriamiento
- Adiciones Finales y Molienda
- Empaque y distribución

6.1.3. Agua

Los cementos se consideran hidráulicos debido a que, estos tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, dado que presentan una reacción química con ella, por lo cual el agua en el concreto es el material que hidrata las partículas de cemento y hace que estén desarrollen sus propiedades aglutinantes. Para la

¹⁵Hernández Paola, definición de concreto [Citado en línea] <http://es.scribd.com/doc/45161976/Definicion-concreto>

¹⁶<http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>

mezcla del concreto se recomienda utilizar agua potable, esto debido a que se considera como potable el agua libre de impurezas, si se presenta una impureza dentro del agua utilizada para la mezcla del concreto, esta puede afectar de manera negativa los procesos que tienen que ver con el endurecimiento, curado y calidad del acabado del concreto.

Distintas son las funciones que ocupa el agua dentro del proceso constructivos tales se pueden enumerar como:

7. Agua de Mezclado
8. Agua de Hidratación
9. Agua Evaporable
10. Agua de Absorción
11. Agua libre
12. Agua de Curado.

6.1.4. Agregados pétreos

Se consideran agregados, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia, que aglomerados por el cemento hidráulico mezclado con agua forman el concreto. El origen de estos materiales puede ser natural o artificial, y generalmente esto son granulares. Otras características importantes de los agregados que se tienen que tener en cuenta, es que estos materiales tienen que garantizar una adherencia suficiente con la pasta endurecida y adicionalmente no perturban ni afectan las características de propias del concreto.

Generalmente los agregados son materiales inertes, es decir, no presentan ningún tipo de reacción con los otros constituyentes del concreto, especialmente con el cemento. Pero en algunos casos se utiliza otro tipo de material que presenta actividad en la mezcla del concreto ayudando especialmente a la resistencia mecánica de este, alguno de estos pueden ser: escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico que hay en el sílice activo y el ladrillo triturado entre otros. Es importante tener en cuenta que otros materiales pueden presentar efectos nocivos dentro de la mezcla del concreto, estos pueden llegar a afectar la estructura interna del concreto y la durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

6.1.5. Tracción indirecta

Para determinar la resistencia la tracción indirecta de un concreto existen dos métodos estandarizados y estructurados por las normas técnicas colombianas, estos métodos se encuentran definidos en la NTC 722 y NTC 2871, y determinan el modulo de rotura de la siguiente manera:

NORMA TECNICA COLOMBIANA 722 – METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA DE ESPECIMENES CILINDRICOS EN CONCRETO.

El método que explica la NTC 722, consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en la longitud de un espécimen de concreto cilíndrico a una velocidad constante hasta que encuentra la falla. Ocurre falla por tensión o tracción, debido a que las aéreas de aplicación de compresión de carga se encuentran es estado triaxial, lo que permite soportar esfuerzos de compresión mayores que los indicados en el resultado de resistencia a la compresión uniaxial.

Teniendo en cuenta lo anterior, para determinar la resistencia a la tracción indirecta, se debe utilizar la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Resistencia a la tensión indirecta del espécimen.

$$T = \frac{2 * P}{\pi * l * d}$$

Fuente: Icontec, NTC 427.

Dónde:

T= resistencia a la tensión indirecta (modulo de rotura)

P= carga máxima aplicada, indicada por la maquina de ensayo (KN)

L= longitud en m

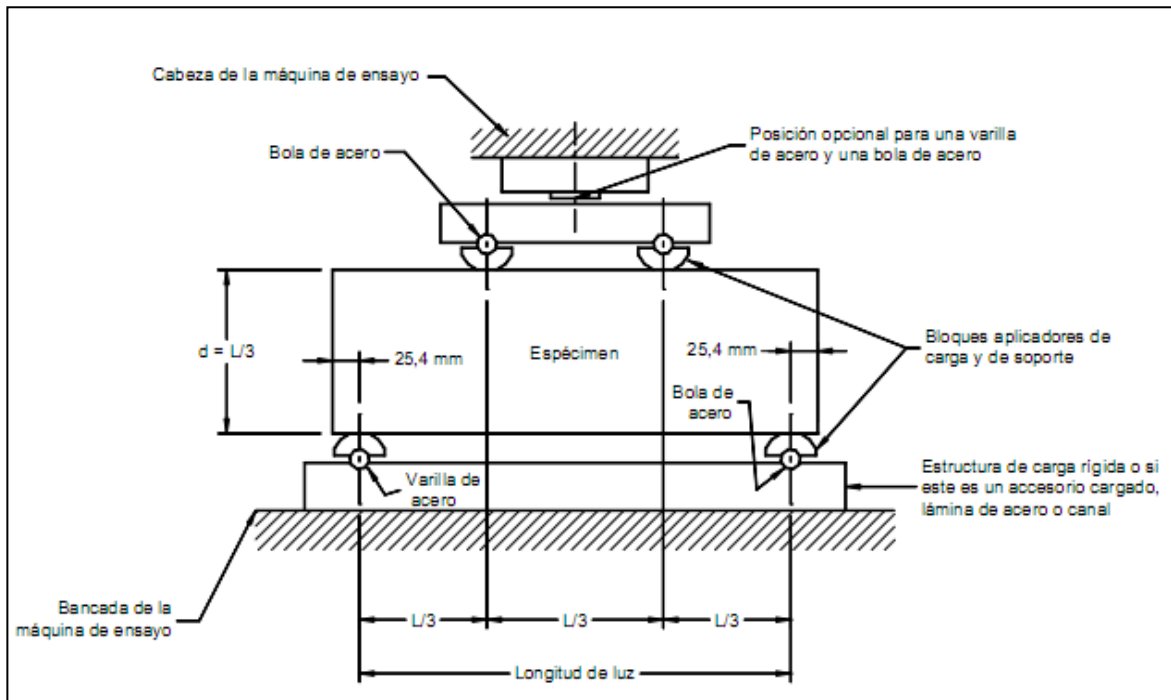
d= Diámetro en m

6.1.6. Flexión o módulo de rotura.

NORMA TECNICA COLOMBIANA 2871 – METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXION (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS MEDIOS)

El método que explica la NTC 2871, consiste en determinar la resistencia a flexion, mediante el uso de una viga simple con carga a los tercios medios este ensayo se realiza tal como lo muestra el siguiente esquema:

Ilustración 4. Vista esquemática del aparato apropiado para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios.



Fuente: Icontec, NTC 427, Figura 1. Vista esquemática del aparato apropiado para la determinación de la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios. 2005

Si la superficie de fractura inicia en la superficie sometida a tensión dentro del tercio medio de la distancia entre apoyos se calcula el módulo de rotura como sigue:

Ecuación 2. Módulo de rotura para ensayo a flexión cuando la falla ocurre en el tercio medio

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Fuente: Icontec, NTC 427.

En donde:

R = Modulo de Rotura, (MPa)

P = Carga máxima aplicada indicada por la maquina de ensayo, (N)

L= Distancia entre apoyos (m)

b= Ancho promedio de la probeta en la fractura (m)

d= altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura (m)

Si la fractura ocurre en la superficie sometida a tensión por fuera del tercio medio en la distancia entre apoyos, en no mas de un 5% de esta, el modulo de rotura se calcula como sigue:

Ecuación 3. Módulo de Rotura para ensayo a flexión cuando la falla ocurre por fuera del tercio medio

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Fuente: Icontec, NTC 427.

En donde:

R = Modulo de Rotura, (MPa)

P = Carga máxima aplicada indicada por la maquina de ensayo, (N)

a= Distancia promedio entre las líneas de fractura y el soporte mas cercano medido en la superficie de la viga sometida a tensión (m)

b= Ancho promedio de la probeta en la fractura (m)

d= altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura (m)

6.2. MARCO LEGAL

Para el desarrollo del presente proyecto, se tienen que ejecutar ensayos de concreto y realizar preparaciones de mezcla, con base en las Normas Sismo Resistentes (NSR) y las Normas Técnicas Colombianas (NTC), en la Tabla 6 se relacionaran cada una de ellas:

Tabla 6. Marco Legal

NORMA	TITULO	OBJETO
NTC 77	Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.	Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.
NTC 78	Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 μm en agregados minerales	Esta norma establece el procedimiento para determinar por lavado, la cantidad de material más fino que el tamiz 75 μm (No 200) en agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas del agregado que se dispersan por el lavado con agua, así como los materiales solubles en el agua, se separan del agregado durante el ensayo
NTC 92	Determinación de la	Esta norma determina la

	masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.	masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados. Esta norma se aplica a agregados que no exceden los 150 mm de tamaño máximo nominal.
NTC 396	Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.	Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
NTC 550	Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto de obra.	Establecer los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para construcción.
NTC 722	Concretos Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos en concreto.	Determinar la resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, tales como los cilindros moldeados y núcleos.
NTC 2871	Concretos Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (	Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el

	utilizando una viga simple con carga a los tercios medios)	uso de una viga simple, apoyada con carga en los tercios medios.
NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto.	Determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto
NTC 3502	Ingeniería civil y arquitectura. Aditivos incorporadores de aire para concreto.	Contemplar los materiales empleados como aditivos incorporadores de aire agregados a la mezcla de concreto.

Fuente: influencia del agregado reciclado en la tracción indirecta del concreto con una relación agua cemento de 0,45y 0,55¹⁷

¹⁷ CASTRO Gutiérrez Robinson, influencia del agregado reciclado en la tracción indirecta del concreto con una relación agua cemento de 0,45y 0,55 universidad la gran Colombia, facultad de ingeniería civil, Bogotá D.C

7. MATERIALES

7.2. Cemento portland tipo 1

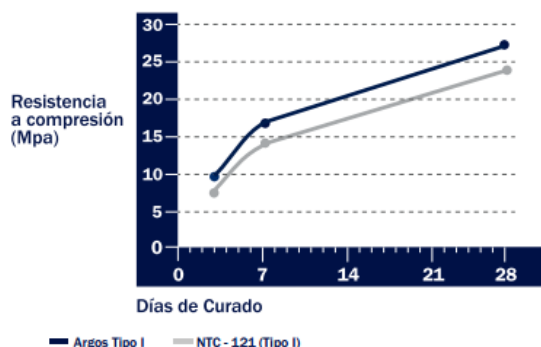
Se utilizó cemento portland tipo 1 (ARGOS), que cuenta con las siguientes especificaciones según el fabricante.

Tabla 7. Especificaciones del cemento portland

Especificaciones Técnicas			
PARÁMETROS QUÍMICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 321 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6.00	7.00	–
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.50	3.50	–
PARÁMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 121 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	90	45	45
Fraguado final ⁽¹⁾ , máximo (minutos)	320	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0.80	0.80	0.80
Expansión en agua ⁽²⁾ , máximo (%)	0.02	–	0.02
Resistencia a 3 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	9	8.0	13
Resistencia a 7 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	16	15.0	20
Resistencia a 28 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	26	24.0	28

Gráficas de Resistencia

- (1) Ensayo con aguja de Vicat según NTC 118
 (2) Ensayo en barras de mortero a 14 días
 (3) Ensayo a compresión sobre cubos de mortero con arena normalizada



Las especificaciones del Cemento Gris de Uso General producido por Cementos Argos S.A. cumplen con los valores de la norma colombiana NTC 121 y 321 .
 Adicionalmente, en la elaboración de concretos se recomienda la revisión y aplicación de la NTC 3318 y NSR-10, requisitos de producción, calidad y durabilidad.

Fuente: <http://www.argos.com.co/wps/wcm/connect/3dbc0300405e576b91b6ff5efd947518/cemento+gris+de+uso+general.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=3dbc0300405e576b91b6ff5efd947518>

7.3. agregado grueso de cantera:El agregado grueso utilizado para la fabricación del concreto que se utilizó para este proyecto, fue adquirido con CONAGRE S.A.S. esta empresa se encuentra ubicada en la zona industrial minera del Tunjuelito, el principal yacimiento aluvial de Bogotá D.C. que se explota legalmente a cielo abierto.

El agregado grueso de cantera utilizado para la preparación del concreto objeto de este estudio, tiene las siguientes características.

7.3.2. Granulometría

Peso Inicial: 2,839 Kg

Tabla 8. Granulometría agregado grueso

TAMIZ		Peso de la muestra retenido	Porcentaje muestra retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Plg "	Mm	Gr	%	%	%
1 1/2"	38,100	0	0	0	100,00
1"	25,400	0	0	0	100,00
3/4"	19,100	0	0	0	100,00
1/2"	12,500	886,8	31,24	31,2	68,76
3/8"	9,510	737,3	25,97	57,2	42,79
4	4,760	1072	37,76	95,0	5,03
8	2,380	92,8	3,27	98,2	1,76
16	1,19	3,5	0,12	98,4	1,63
30	0,595	8,2	0,29	98,7	1,35
50	0,297	7,1	0,25	98,9	1,10
100	0,149	6,0	0,21	99,1	0,88

200	0,08	4,5	0,16	99,3	0,73
Fondo		9	0,32	99,6	0,41
Sumatoria		2827,2	100,00		
Tamaño máximo				3/4"	
Tamaño máximo nominal				1/2"	

Fuente: Autor

Tabla 9 . Otras Características del Agregado grueso

CARACTERISTICA	VALOR	UNIDAD
Peso Específico del Agregado Grueso	2681	(Kg/m ³)
Peso Volumétrico del Agregado Grueso	1356	kg/m ³
Absorción del Agregado Grueso	1,8	%
Humedad del Agregado Grueso	1	%

Fuente: Autor

7.4. Agregado Grueso Reciclado.

El agregado grueso reciclado, utilizado para la preparación del concreto objeto de este estudio, era un material de desecho proveniente de escombros de estructuras en concreto y no tenía un tamaño estandarizado, se requirió estandarizar su tamaño para poder utilizarlo como agregado grueso. Para esto se pasó el material entre el tamiz de 1" y ¾", lo que quedo entre los dos tamices se utilizó como agregado grueso, el resto se desechó.

Tabla 10. Características del agregado grueso reciclado

CARACTERISTICA	VALOR	UNIDAD
Peso Específico del Agregado Reciclado	2490	(Kg/m ³)
Tamaño Máximo del Agregado Reciclado	19,1	mm (3/4)
Peso Volumétrico del Agregado Reciclado	1204	kg/m ³
Absorción del Agregado Reciclado	6,3	%
Humedad del Agregado Reciclado	1,0	%

Fuente: Autor

7.5. Agregado Fino

Al igual que el agregado grueso, el agregado fino se adquirió en CONAGRE S.A.S, este agregado tiene las siguientes características:

7.5.2. Granulometría

Tabla 11. Granulometría del agregado fino

Peso Inicial: 2,6412 Kg

TAMIZ		Peso de la muestra retenido	Porcentaje muestra retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Plg "	Mm	gr	%	%	%
1 1/2"	38,100	0	0	0	100,00
1"	25,400	0	0	0	100,00
3/4"	19,100	0	0	0	100,00
1/2"	12,500	0	0,00	0	100,00
3/8"	9,510	10	0,40	0,4	99,60

4	4,760	144,7	5,81	6,2	93,79
8	2,380	385,7	15,49	21,7	78,30
16	1,190	303,7	12,20	33,9	66,10
30	0,595	290,5	11,67	45,6	54,43
50	0,297	910,1	36,55	82,1	17,88
100	0,149	293,9	11,80	93,9	6,08
200	0,08	126,6	5,08	99,0	0,99
Fondo		24,7	0,99	100,0	0,00
Sumatoria		2489,9	100,00		
MODULO DE FINURA				2,84	

Fuente: Autor

Tabla 12. Otras características del agregado fino.

CARACTERISTICA	VALOR	UNIDAD
Peso Volumétrico del Agregado Fino	1455	kg/m3
Peso Específico del Agregado Fino	2618	(Kg/m³)
Absorción del Agregado Fino	1,48	%
Humedad del Agregado Fino	1,0	%

Fuente: Autor.

7.6. MICROSILICE (EUCON MSA 100P) Humo de sílice con aditivo plastificante para concreto de alto desempeño

- **Descripción:** EUCON MSA 100 P es un aditivo en polvo, color gris, con base en microsílica y superplastificante, diseñado para mejorar las características del concreto en estado fresco y endurecido.

La microsílica reacciona con el Hidróxido de Calcio en la pasta de cemento, produciendo mayor cantidad de gel de silicato de calcio, incrementando la resistencia y durabilidad. Las partículas muy finas de microsílica llenan los pequeños espacios entre las partículas de cemento, creando un concreto más denso, menos permeable y con mayor durabilidad.

- **Información técnica** EUCON MSA 100 P es un compuesto que contiene humo de sílice y un aditivo superplastificante; la microsílica contenida cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-1240 y las siguientes características:

Color : Gris claro Contenido de SiO₂ : 77% - 84%

7.7. Agua

El agua que se utilizó para la producción de la mezcla de concreto, es agua potable suministrada por el acueducto de Bogotá, libre de impurezas aparentes, sin olor y sin sabor. Al igual cumple con los requisitos expuestos por la NTC 3459.

8. MARCO METODOLOGICO

El presente proyecto se enmarca dentro del campo de la investigación experimental y consistirá en realizar una evaluación a las muestras tomadas del concreto fabricado con agregados reciclado, con los datos obtenidos de los diferentes ensayos que se realizaran, se desarrollara un análisis estadístico el cual permitirá establecer la influencia del porcentaje de dicho agregados en el comportamiento del concreto reciclado bajo cargas a flexión y tracción indirecta

8.1. FASE 1: Producción de probetas

En esta fase se elaboraran probetas en concreto (cilíndricas y prismáticas), estas serán fabricadas con diferentes diseños de mezcla, realizados teniendo en cuenta cada una de las características particulares de los materiales utilizados para la fabricación de cualquier concreto (cemento, agregado grueso (natural, reciclado), agregado fino. Micro sílice y agua), con el fin de evaluar la resistencia a flexión y tracción indirecta, de los diferentes concretos preparados según los diseños de mezcla obtenidos, el procedimiento se realizara así, para realizar el diseño de mezcla anteriormente nombrado se utilizó el método A.C.I 211, en donde se mantuvo constante la cantidad de agua en aproximadamente 200 Kg/m³.

8.1.1 Elaboración del diseño de mezcla Luego de realizar la caracterización e identificación de cada uno de los componentes de la mezcla de concreto, y teniendo en cuenta la matriz de trabajo que se presenta en la ilustración 5, se procedió a establecer el diseño de mezcla, para el desarrollo del presente proyecto.

Teniendo en cuenta la ilustración 5. matriz de trabajo, se prepararon los siguientes diseños de mezcla, cabe aclarar que la mezcladora disponible en el laboratorio, tenía una capacidad máxima de 75 kilos, y teniendo en cuenta que en promedio para cada una de las combinaciones anteriores se requirieron seis viguetas y ocho cilindros y que aproximadamente la cantidad de concreto necesario para producir estas muestras oscilaba entre 140 y 148 kilos, fue necesario preparar dos veces el mismo diseño de mezcla, así.

Ilustración 5. Matriz de trabajo

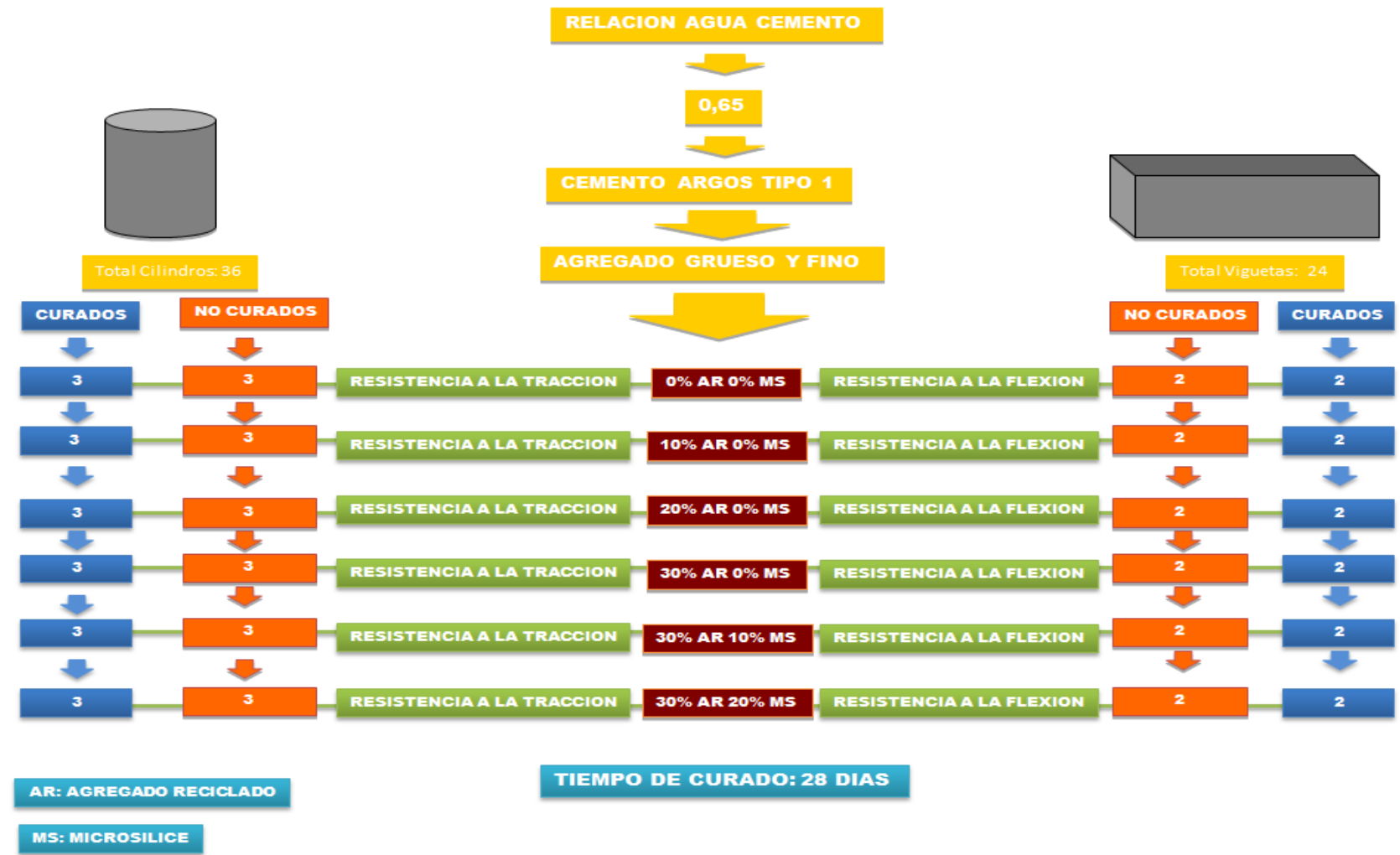


Tabla 13. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 0% De Agregado Reciclado.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	211,51	1000	0,21	AGUA
CEMENTO	325,40	3100	0,10	CEMENTO
GRAVA	847,36	2681	0,32	GRAVA
RECICLADO	0,00	2490	0,00	RECICLADO
MICROSILICE	0,00	2300	0,00	MICROSILICE
ARENA	1018,45	2618	0,39	ARENA
TOTAL	2402,71		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA	CANTIDAD 2 VIGUETAS	CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS	CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO
ARN	0	ARN	0	ARN 0	ARN 0	ARN 0	ARN 0
Cantidad de H2O (KG)	0,345657	1,0370		2,5222	5,044	6,08	6,39
PESO CEMENTO (KG)	0,531779	1,5953		3,8803	7,761	9,36	9,82
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	1,384806	4,1544		10,1048	20,210	24,36	25,58
PESO RECICLADO (KG)	0,000000	-		-	-	-	-
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,664408	4,9932		12,1450	24,290	29,28	30,75
TOTAL (KG)	3,92665	11,7800		28,6524	57,305	69,08	72,54

Fuente: Autor

Tabla 14. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 10% De Agregado Reciclado.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	215,27	1000	0,22	AGUA
CEMENTO	331,18	3100	0,11	CEMENTO
GRAVA	762,63	2681	0,28	GRAVA
RECICLADO	88,53	2490	0,03	RECICLADO
MICROSILICE	0,00	2300	0,00	MICROSILICE
ARENA	1012,12	2618	0,39	ARENA
TOTAL	2409,73		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA	CANTIDAD 2 VIGUETAS	CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS	CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO
ARN	10	ARN	10	ARN	10	ARN	10
Cantidad de H2O (KG)	0,351804		1,0554		2,5671		6,19
PESO CEMENTO (KG)	0,541236		1,6237		3,9493		9,52
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	1,246326		3,7390		9,0943		18,189
PESO RECICLADO (KG)	0,137395		0,4122		1,0026		2,005
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,654067		4,9622		12,0696		24,139
TOTAL (KG)	3,93083		11,7925		28,6828		57,366

Fuente: Autor

Tabla 15. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 20% De Agregado Reciclado.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	219,03	1000	0,22	AGUA
CEMENTO	336,97	3100	0,11	CEMENTO
GRAVA	677,89	2681	0,25	GRAVA
RECICLADO	177,06	2490	0,07	RECICLADO
MICROSILICE	0,00	2300	0,00	MICROSILICE
ARENA	1005,79	2618	0,38	ARENA
TOTAL	2416,74		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA	CANTIDAD 2 VIGUETAS	CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS	CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO
ARN	20	ARN	20	ARN	20	ARN	20
Cantidad de H2O (KG)	0,357951		1,0739		2,6119		6,30
PESO CEMENTO (KG)	0,550693		1,6521		4,0184		8,037
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	1,107845		3,3235		8,0838		16,168
PESO RECICLADO (KG)	0,274790		0,8244		2,0051		4,010
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,643727		4,9312		11,9941		23,988
TOTAL (KG)	3,93501		11,8050		28,7133		57,427

Fuente: Autor

Tabla 16. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 30% De Agregado Reciclado.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	222,79	1000	0,22	AGUA
CEMENTO	342,76	3100	0,11	CEMENTO
GRAVA	593,15	2681	0,22	GRAVA
RECICLADO	265,58	2490	0,10	RECICLADO
MICROSILICE	0,00	2300	0,00	MICROSILICE
ARENA	999,47	2618	0,38	ARENA
TOTAL	2423,75		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA	CANTIDAD 2 VIGUETAS	CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS	CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO
ARN	30	ARN	30	ARN	30	ARN	30
Cantidad de H2O (KG)	0,364098		1,0923		2,6568		6,41
PESO CEMENTO (KG)	0,560151		1,6805		4,0874		8,175
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	0,969364		2,9081		7,0734		14,147
PESO RECICLADO (KG)	0,412186		1,2366		3,0077		6,015
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,633386		4,9002		11,9186		23,837
TOTAL (KG)	3,93918		11,8176		28,7438		57,488

Fuente: Autor

Tabla 17.Diseño de mezcla para una relación agua cemento de 0,65 con 30% de agregado reciclado + 5% de microsilice.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	222,71	1000	0,22	AGUA
CEMENTO	342,63	3100	0,11	CEMENTO
GRAVA	593,15	2681	0,22	GRAVA
RECICLADO	265,58	2490	0,10	RECICLADO
MICROSILICE	17,13	2300	0,01	MICROSILICE
ARENA	981,87	2618	0,38	ARENA
TOTAL	2423,07		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA		CANTIDAD 2 VIGUETAS		CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS		CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO	
ARN	30	ARN	30	ARN	30	ARN	30	ARN	30	ARN	30
Cantidad de H2O (KG)	0,36396		1,09188		2,65578		5,31156		6,40345		6,72362
PESO CEMENTO (KG)	0,55994		1,67982		4,08582		8,17164		9,85146		10,34403
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	0,96936		2,90809		7,07335		14,14670		17,05480		17,90754
PESO RECICLADO (KG)	0,41219		1,23656		3,00768		6,01535		7,25191		7,61450
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,60463		4,81389		11,70882		23,41763		28,23152		29,64310
MICROSILICE (KG)	0,02800		0,08399		0,20429		0,40858		0,49257		0,54183
TOTAL (KG)	3,91008		11,7302		28,5314		57,063		68,79		72,23

Tabla 18. Diseño De Mezcla Para Una Relación Agua Cemento De 0,65 Con 30% De Agregado Reciclado + 10% de microsilice.

	PESO REAL KG/M3	PESO ESPECIFICO kg/m3	VOLUMEN ABS	
AGUA	222,62	1000	0,22	AGUA
CEMENTO	342,50	3100	0,11	CEMENTO
GRAVA	593,15	2681	0,22	GRAVA
RECICLADO	265,58	2490	0,10	RECICLADO
MICROSILICE	34,25	2300	0,01	MICROSILICE
ARENA	964,28	2618	0,37	ARENA
TOTAL	2422,38		1,0	TOTAL

CANTIDAD POR CILINDRO		CANTIDAD 3 CILINDROS		CANTIDAD VIGUETA	CANTIDAD 2 VIGUETAS	CANTIDAD 2 VIGUETAS Y 3 CILINDROS	CANTIDAD TOTAL + 10% DESPERDICIO
ARN	30	ARN	30	ARN 30	ARN 30	ARN 30	ARN 30
Cantidad de H2O (KG)	0,36382		1,09147	2,65478	5,30956	6,40103	6,72108
PESO CEMENTO (KG)	0,55973		1,67918	4,08428	8,16855	9,84774	10,34012
PESO AGREGADO GRUESO (KG)	0,96936		2,90809	7,07335	14,14670	17,05480	17,90754
PESO RECICLADO (KG)	0,41219		1,23656	3,00768	6,01535	7,25191	7,61450
PESO AGREGADO FINO (KG)	1,57587		4,72762	11,49899	22,99797	27,72560	29,11187
MICROSILICE (KG)	0,05597		0,16792	0,40843	0,81686	0,98477	1,08325
TOTAL (KG)	3,88097		11,6429	28,3191	56,638	68,28	71,70

Fuente: Autor

8.1.2. Preparación del concreto

- Después que se realiza el diseño de mezcla se procede a pesar cada uno de los componentes del concreto referenciado los pesos obtenidos con el diseño de mezcla. (Ilustración 6)

Ilustración 6. Pesaje de los materiales



Fuente: Autor

- Seguidamente se procede a mezclar todos los componentes en una mezcladora de concreto y dejarlos durante el tiempo que sea necesaria hasta lograr una pasta uniforme. (ilustración 7)

Ilustración 7. Mezclado de los materiales



Fuente: Autor

- Se procede a la preparación de las viguetas según lo estipulado en la norma NTC550, la cual indica que este tipo de probeta debe ser fundido en dos capas de igual espesor y además deben ser apisonada cada capa con una varilla lisa, para este tipo de probetas se determina que el número de golpes es uno por cada 14cm^2 (Ilustración 8).

Ilustración 8. Construcción de las vigetas



Fuente: Autor

- Posteriormente se procede a afinar la superficie de las vigetas para que sea lo más plana y uniforme posible
- Luego de esto se procede a vaciar el concreto en unas probetas cilíndricas siguiendo lo estipulado por la norma NTC 550 la cual dice que este tipo de probetas debe ser fundida en tres capas de igual espesor y apisonadas cada una con 25 golpes respectivamente (Ilustración 9)

Ilustración 9. Construcción de los cilindros



Fuente: Autor

- Después se procede a dejar las probetas en un lugar donde puedan fraguar durante 24 horas sin ninguna alteración (Ilustración 10).

Ilustración 10. Fraguado de las probetas



Fuente: Autor

- Luego se procede a marcar las probetas con la relación agua cemento, la fecha en la cual fueron construidas y el porcentaje de agregado reciclado que contiene.
- Seguidamente se procede a desencofrar las probetas y ubicarlas según la matriz de trabajo en lugares donde tengan las condiciones de curado (sumergido en agua) y no curado (sin sumergir), durante un periodo de 28 días que es el tiempo en el cual adquiere su mayor resistencia (Ilustración 11).

Ilustración 11. Curado de las probetas



Fuente: Autor

8.2. FASE 2: Determinación de la resistencia a la flexión de las viguetas de concreto

En esta fase se deben realizar ensayos para determinar la resistencia a la flexión, a las probetas que se fabricaron en la fase anterior, esto teniendo en cuenta la norma NTC 2871, en la cual especifican las dimensiones de la probeta a fallar que para este caso son de 15 cm x 15 cm en sus caras y 53 cm de longitud.

- Como se indica en la norma técnica NTC 2871 se procede a ubicar la muestra de manera horizontal (Ilustración 12)

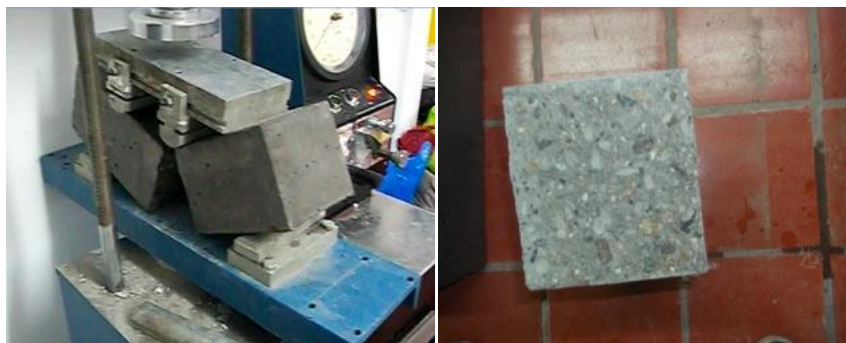
Ilustración 12. Probetas para flexion.



Fuente: Autor

- El ensayo se realiza aplicando un carga que incrementa gradualmente y va desde 0 kN hasta que la muestra falle (Ilustración 13)

Ilustración 13. Ensayo de flexion



Fuente: Autor

8.3. FASE 3:Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de los cilindros de concreto.

En esa fase se deben realizar ensayos para determinar la resistencia a la tracción indirecta, a las probetas que se fabricaron en la fase anterior, esto teniendo en cuenta la NTC 722. Esta norma precisa los parámetros para realizar dicho ensayo, que consiste en poner un cilindro en posición horizontal, para aplicar una fuerza de compresión diametral, a una velocidad preestablecida, hasta que ocurra la falla. La carga aplicada induce esfuerzos de tensión en el plano que contiene la carga aplicada. Para esta fase se realiza el ensayo de tracción indirecta a todas las muestras cilíndricas, estas con dimensiones de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, curada y no curada respectivamente (Ilustración 14).

Ilustración 14. Ensayo de traccion indirecta



Fuente: Autor

- Como lo indica la norma técnica NTC 722, se procede a ubicar la muestra en posición horizontal, en una superficie que permitiera la distribución de esfuerzos en forma homogénea (Ilustración 15).

Ilustración 15. Ubicación de la probeta.



Fuente: Autor

- El ensayo se realiza aplicando una carga que incrementa gradualmente y va desde 0 kN hasta que la muestra falle (Ilustración 16)

Ilustración 16. Probeta después de la falla



Fuente: Autor

8.4. FASE 4: Resultados y análisis de resultados

En esta fase se hará un análisis de resultados, con los datos obtenidos después de haber realizado los ensayos, y teniendo en cuenta las variables de tipo de curado, cantidad de agregado reciclado y la adición de micro sílice como plastificante.

8.4.1. Resistencia a la tracción indirecta vs Porcentaje de adición de agregado reciclado. Se realizan análisis comparativos, mediante una gráfica que represente una curva de resistencia a la tracción indirecta versus porcentaje de agregado reciclado y microsílíce de la siguiente forma:

- Resistencia a la tracción Indirecta Vs % de adición de agregado reciclado para las muestras con relación agua cemento de 0,65.(Curadas y no curadas)

8.4.2. Resistencia a la Flexión vs Porcentaje de adición de agregado reciclado. Se realizan análisis comparativos, mediante una gráfica que represente una curva de resistencia a la Flexión versus porcentaje de agregado reciclado. De la siguiente forma:

- Resistencia a la flexión Vs % de adición de agregado reciclado para las muestras con relación agua cemento de 0,65.(Curadas y no curadas)

9. RESULTADOS

9.1. Resistencia a la tracción indirecta

Luego de haber desarrollado cuidadosamente las fases descritas anteriormente y teniendo en cuenta lo expuesto en el marco teórico, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 18) correspondientes a la resistencia a la tracción indirecta del concreto hidráulico con una relación agua cemento de 0,65.

Tabla 19. Resistencia a la tracción indirecta

	A/C	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + 5% MS	30% AR + 10% MS
CURADO	0,65C	2,82	2,66	3,37	2,55	3,57	3,61
NO CURADO	0,65 NC	1,91	1,96	3,02	2,43	3,27	3,32

Fuente: Autor.

Tabla 20. Variación de la Resistencia de las muestras curadas frente a las muestras no curadas

A/C	MAX	MIN	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + + 5% MS	30% AR + 10% MS
0,65	32%	5%	32%	26%	10%	5%	8%	8%

Fuente: Autor.

En la tabla 19 y 20 se reflejada el aumento considerable de la resistencia a la tracción indirecta de muestras cuadradas dejando a un lado por un momento el porcentaje de sustitución de agregado grueso por agregado reciclado o de microsilice.

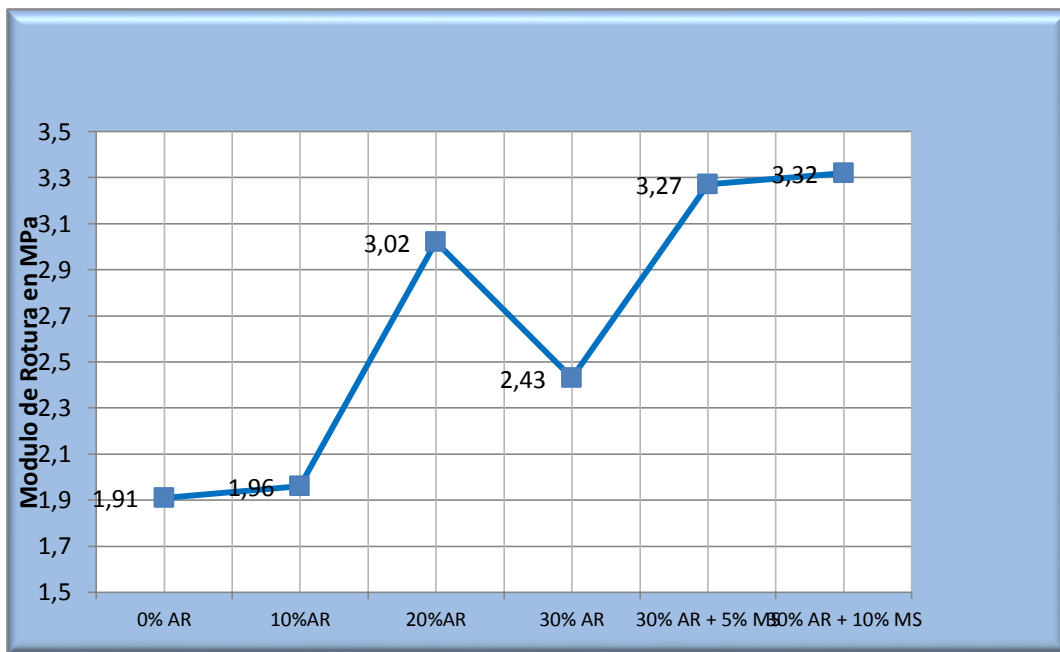
Tabla 21. Influencia del porcentaje de agregado reciclado y el microsilice en la resistencia a la tracción indirecta.

	A/C	MAX	MIN	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + 5% MS	30% AR + 10% MS
CURADO	0,65	28%	-10%	0%	-6%	20%	-10%	27%	28%
NO CURADO	0,65	74%	27%	0%	3%	58%	27%	71%	74%

Fuente: Autor.

Para entender más a fondo los valores obtenidos a partir de la sustitución de agregado grueso por agregado reciclado presentados en la tabla 20 se hace una relación de estos valores en las gráficas 1,2y3.

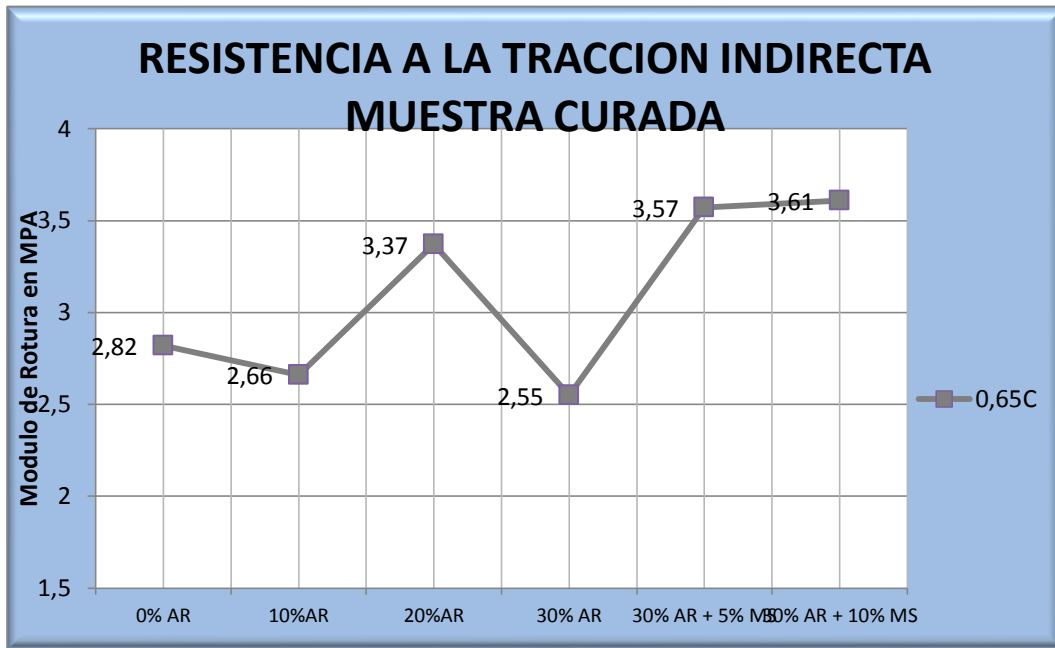
Gráfica 1. Resistencia a la tracción indirecta en muestras no curadas.



Fuente: Autor.

En la gráfica anterior se puede evidenciar el aumento en la resistencia a la tracción indirecta en todos los porcentajes de sustitución de agregado reciclado en las muestras no curadas.

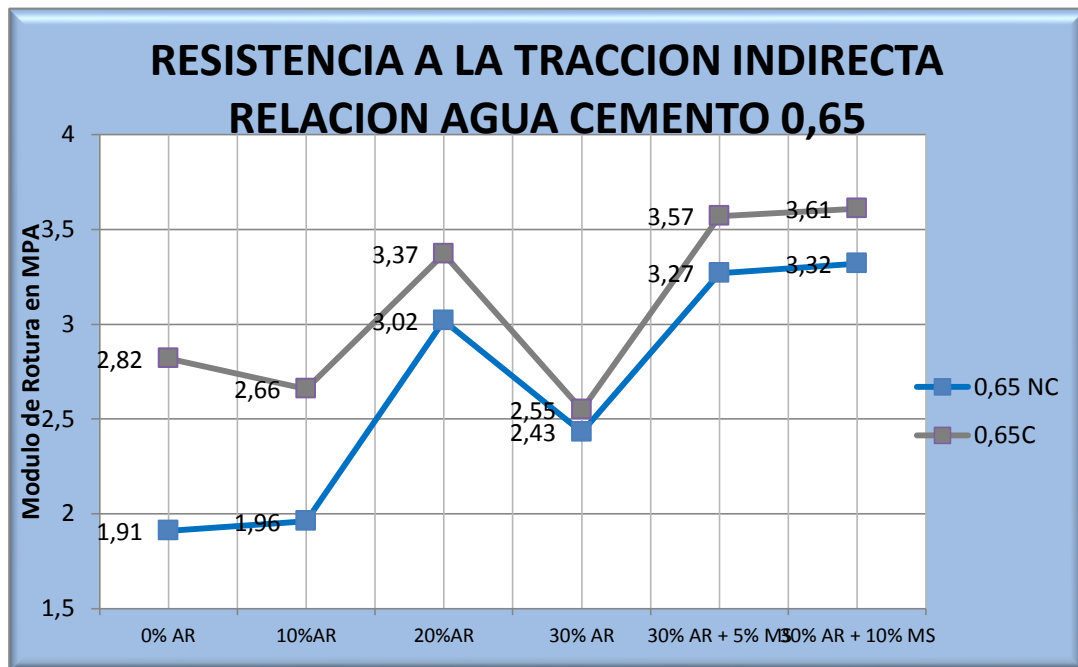
Grafica 2. Resistencia a la tracción indirecta muestra curada



Fuente: Autor.

En las muestras curadas se puede evidenciar que la mayoría de los casos la resistencia a la tracción indirecta aumenta además de esto se evidencia que hay un porcentaje de sustitución óptimo que se encuentra entre el 20% y el 30% de agregado reciclado.

Grafica 3. Resistencia tracción indirecta



Fuente: Autor.

Se ve claramente evidenciado el aumento considerable de la resistencia cuando se utiliza microsilice como adición, ya que este vuelve a elevar los valores de resistencia por encima de los obtenidos con cada una de las diferentes sustituciones.

Existe un límite superior de resistencia cuando se reemplaza el agregado pétreo por el agregado reciclado, este límite se encuentra entre el 20% y el 30% de sustitución ya que en las graficas se puede observar que es en este rango donde la curva empieza a decrecer de una manera considerable.

9.2. Resistencia la flexión.

Luego de haber desarrollado cuidadosamente las fases descritas anteriormente y teniendo en cuenta lo expuesto en el marco teórico, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 21) correspondientes a la resistencia a la flexión del concreto hidráulico con una relación agua cemento de 0,65.

Tabla 22. Resistencia ala flexión.

RESISTENCIA A LA FLEXION A LOS 28 DIAS							
	A/C	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + 5% MS	30% AR + 10% MS
CURADO	0,65C	3,59	3,76	3,96	3,66	4,6	4,96
NO CURADO	0,65NC	3,18	3,07	2,75	3,24	3,56	3,19

Fuente: Autor.

Tabla 23. Variación de la Resistencia de las muestras curadas frente a las muestras no curadas

A/C	MAX	MIN	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + 5% MS	30% AR + 10% MS
0,65	36%	11%	11%	18,4%	31%	11%	23%	36%

Fuente: Autor.

En la tabla 21 y 22 se reflejada el aumento considerable de la resistencia a la tracción indirecta de muestras cuadradas dejando a un lado por un momento el porcentaje de sustitución de agregado grueso por agregado reciclado o de microsilice.

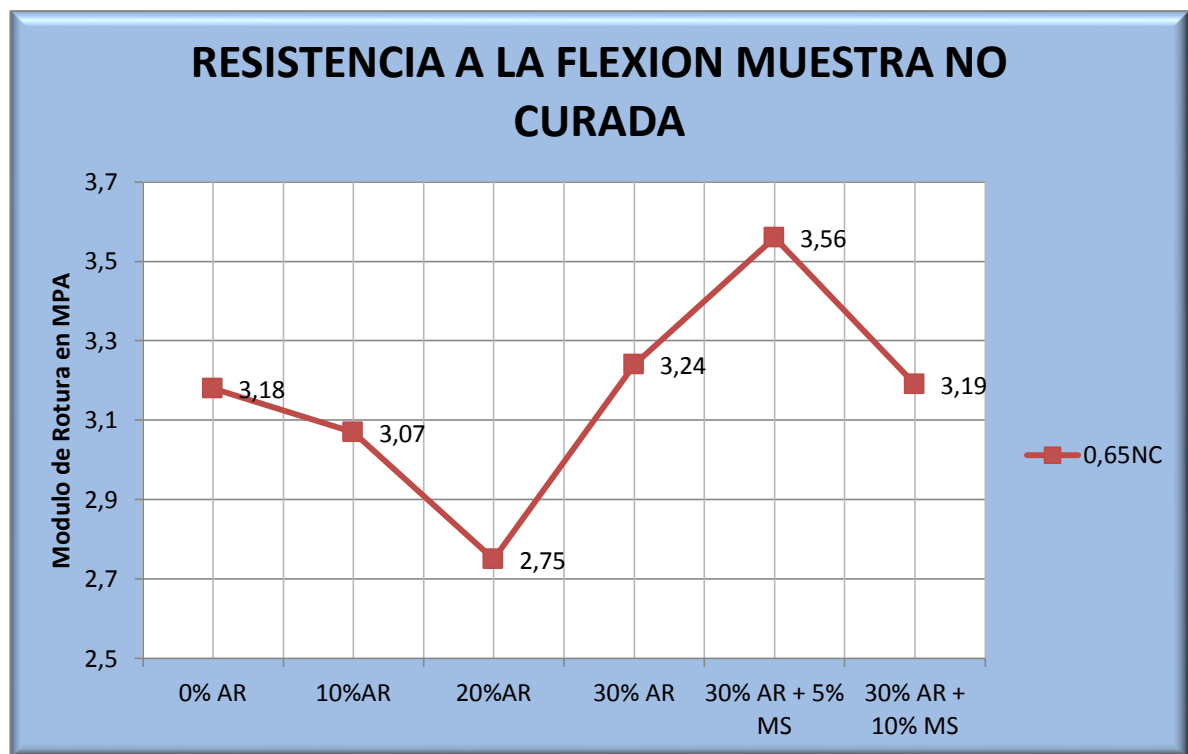
Tabla 24. Influencia del porcentaje de agregado reciclado y el microsilice en la resistencia a la tracción indirecta.

	A/C	MAX	MIN	0% AR	10% AR	20% AR	30% AR	30% AR + 5% MS	30% AR + 10% MS
CURADO	0,65	38%	2%	0%	5%	10%	2%	28%	38%
NO CURADO	0,65	12%	-14%	0%	-3%	-14%	2%	12%	0%

Fuente: Autor.

Para entender más a fondo los valores obtenidos a partir de la sustitución de agregado grueso por agregado reciclado presentados en la tabla 23 se hace una relación de estos valores en las gráficas 4,5y6.

Grafica 4. Resistencia a la flexión muestra no curada.



Fuente: Autor.

En las muestras no curadas se nota una disminución inicial en la resistencia ala flexión esta disminución pude ocasionarse por la forma de fraguado del concreto

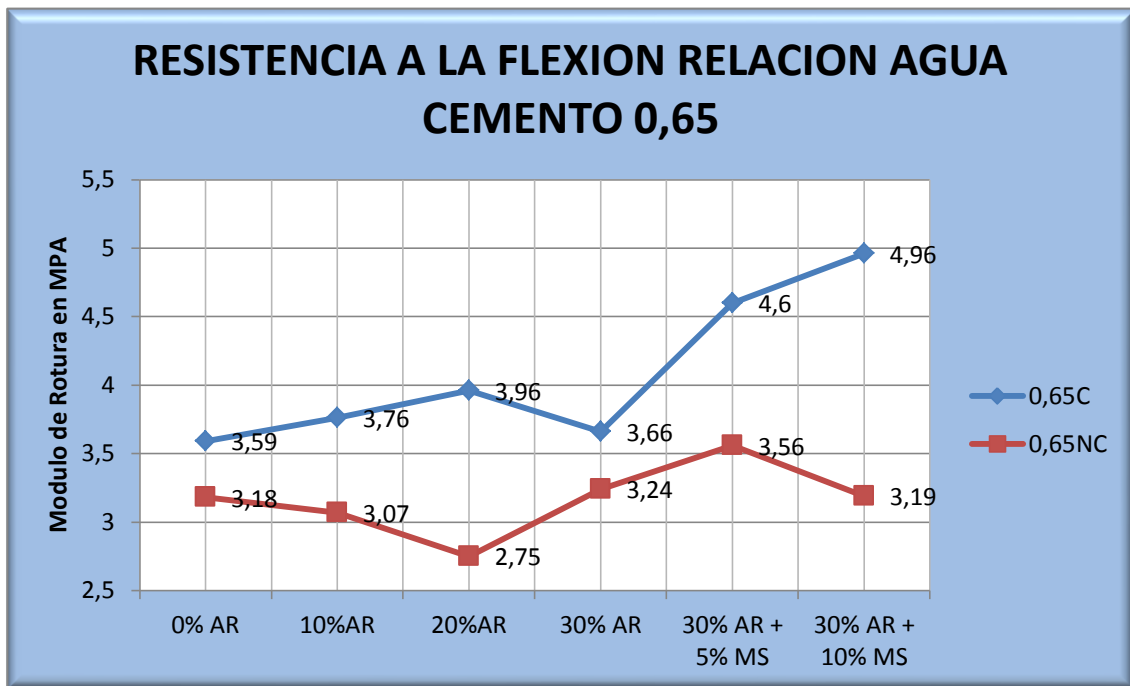
Grafica 5. Resistencia a la flexión muestra curada.



Fuente: Autor.

En las muestras curadas se puede evidenciar el aumento de la resistencia a la flexión de las muestras con sustitución de agregado; aunque nuevamente se evidencia que existe un porcentaje de sustitución optimo que se encuentra entre el 20% y 30%.

Grafica 6. . Resistencia a la flexión.



Fuente: Autor.

En las gráficas se puede observar el aumento en la resistencia de las muestras curadas aunque en cada uno de los casos de fraguado se presenta un valor atípico se puede llegar a pensar que este dato seria producto de la inexperiencia en la realización de este tipo de ensayos, además en las gráficas en general se ve evidenciado el aumento en la resistencia del concreto hidráulico con agregado reciclado y microsilice. Ya que solo en una ocasión el valor de resistencia de las muestras con algún porcentaje de agregado reciclado es menor que la obtenida con la muestra sin contenido de agregado reciclado.

Además cabe anotar que la variación en los resultados de las muestras no curadas son producto de las micro fisuras que se pueden generar en el concreto por la falta de hidratación durante el proceso de fraguado.

10. CONCLUSIONES

- La sustitución de agregado reciclado, aumenta considerablemente la resistencia que puede alcanzar a flexión y tracción indirecta un concreto reciclado. Esto teniendo en cuenta que algunos concretos alcanzaron módulos de rotura mayores a 5 MPa, aumentando su resistencia hasta en un 30%, de la resistencia alcanzada por concretos fabricados por agregados naturales.
- El proceso de curado es fundamental, para obtener concretos de excelente calidad, es necesario realizarlos de acuerdo a las normas técnicas vigentes, ya que un adecuado proceso de curado genera una reducción en los vacíos y poros en la estructura de la pasta de cemento, llenando dichos vacíos con productos de la hidratación del cemento y teniendo en cuenta que la falla de un elemento de concreto sometido a esfuerzos de tensión inicia, por estas microfisuras, es correcto decir que el proceso de curado ayuda a conservar la resistencia de un concreto sometido a esfuerzos de tensión.
- El concreto que además de sustitución de agregado reciclado, contiene adiciones de microsilice, en general presenta una resistencia mucho mayor a flexión y tracción indirecta, a la resistencia que presentaba un concreto con porcentajes de sustitución que no tenían como adición microsilice.
- Es posible utilizar los concretos con diferentes tipos de sustitución de agregado reciclado y con adición de microsilice, como concretos estructurales para una relación agua cemento 0,65, ya que las sustituciones de agregado reciclado aumentan de una manera notoria la resistencia de un concreto con las características anteriormente expuestas. Una de las posibles causas, es la presencia de pasta de cemento adherida a la fracciones de agregado grueso del concreto reciclado, además de esto se debe considerar que el agregado reciclado puede contener fragmentos de hierro que aumenta la fluencia en este tipo de concretos.

- El proceso de curado en el concreto aumenta considerablemente la resistencia del concreto ya que ayuda a mantener la hidratación durante el proceso de fraguado evitando así que se produzcan micro fisuras producto de la deshidratación.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la resistencia a la flexión y a la tracción indirecta a los 7 y a los 14 días con el fin de poder implementar este tipo de concretos a métodos constructivos.
- Se recomienda realizar ensayos de resistencia a la tracción indirecta y flexión con otros porcentajes de adiciones de agregado reciclado,
- Se recomienda investigar la influencia de otro tipo de materiales como son fibras sintéticas y naturales.
- Se recomienda estudiar la influencia que tienen los procesos de hidratación, en los agregados de concreto reciclado, esto para observar más a profundidad el comportamiento de los componentes como el cemento cuando estos agregados son reutilizados.
- Se recomienda analizar la posibilidad de normalizar este tipo de concretos para que sean utilizados en el medio de la construcción.

BIBLIOGRAFIA

BEDOYA, Carlos M. El Concreto Reciclado con Escombros como Generador de Hábitats Urbanos Sostenibles. Escuela del Hábitat. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Julio 2003. 98 p.

COMISION FEDERAL DE ENERGIA. Manual de Tecnología del concreto. Sección 1, Ciudad de México D.F.: Noriega Editores, 1994. 350 pág.

GIL Jeason David, GONZALES Diego Fernando, Rodríguez Jheisson Andrés. Influencia de la Permeabilidad al Agua en la Durabilidad del Concreto Reciclado con Diferentes Relaciones Agua/Cemento Y Microsílice Como Adición. Bogotá D.C.: Universidad la Gran Colombia. Facultad de Ingeniería Civil. 2012. p. 110.

GUZMAN María Fernanda, PEREZ. Diego Darío Utilización de Agregados no convencionales para la preparación de concretos Ecológicos. En: Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. 2011. P. 552 [En línea]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Concretos - Método de ensayo para determinar la Resistencia a la Tensión Indirecta de Especímenes Cilíndricos De Concreto. NTC 722. Bogotá D.C: El instituto, 2000 15 Pág

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Concretos – Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios. NTC 2871. Bogotá D.C: El instituto, 2000 18 pág.

MARTINEZ-SOTO, I.E. y MENDOZA-ESCOBEDO, C.J.. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. Ing. invest. ytecnol. [online]. 2006, vol.7, n.3, pp. 151-164. ISSN 1405-7743.

Sánchez de Guzman, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Quinta Edición. Bogotá: BHANDAR, 2001. 115. Pag

ULLOA Andrea. Estudio de la durabilidad de Hormigones con áridos reciclados., tesis de maestría, Universidad Politécnica De Valencia.” 305 pág.

Anexos