EVALUACION DEL REFUERZO EXTERNO ADHERIDO EN LÁMINAS DE ACERO PARA VIGAS EN CONCRETO CON COMPORTAMIENTOS A FLEXIÓN.

PRESENTADO POR:

SERGIO ANDRES ALDANA MEJIA

ALVARO IGNACIO VARGAS GONZALEZ

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
BOGOTA, NOVIEMBRE DEL 2016

EVALUACION DEL REFUERZO EXTERNO ADHERIDO EN LÁMINAS DE ACERO PARA VIGAS EN CONCRETO CON COMPORTAMIENTOS A FLEXIÓN.

PRESENTADO POR:

SERGIO ANDRES ALDANA MEJIA

ALVARO IGNACIO VARGAS GONZALES

REVISOR DISCIPLINAR:

ING. JULIO TORRES

DOCENTE
BIBIANA CAROLINA GOMEZ SALGADO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
BOGOTA, NOVIEMBRE DEL 2016

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresa su agradecimiento a:

Al Ingeniero JULIO TORRES asesor disciplinar del trabajo de investigación por la colaboración y apoyo prestado a este trabajo investigativo.

A la licenciada BIBIANA GOMEZ por su asesoría metodologica constante en la organización del trabajo de investigación.

A los docentes de la UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA en general por su aporte a nuestro conocimiento integral en nuestra formacion profesional.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 4
INTRODUCCIÓN 10
1 . PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
2 . ANTECEDENTES 14
3 . JUSTIFICACION 17
4 . OBJETIVOS 19
4.1 GENERAL 19
4.2 ESPECIFICOS 19
5 . MARCO REFERENCIAL 20
5.1 MARCO TEÓRICO 20
5.1.1 Introducción en el diseño por flexión de vigas en concreto. 20
5.1.2 Flexión de vigas homogéneas: 21
5.1.3 Las vigas de concreto reforzado 24
5.1.4 Resistencia a flexión: 24
5.2 MARCO CONCEPTUAL 27
5.3 MARCO LEGAL 29
5.4 MARCO GEOGRÁFICO 30
6 . DISEÑO METODOLOGICO 31
6.1 ENFOQUE 31
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 31
6.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DE INFORMACIÓN 32
6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES 33
6.4.1 Etapas del proyecto. 35
6.4.2 Etapa 1. Análisis del elemento estructural y dimensionamiento. 37
6.4.3 Etapa 2. Obtención de materiales para obra. 43
6.4.4 Etapa 3. proceso de obra a ejecutar. 47
6.4.5 Etapa 4. ejecución de ensayos para análisis posteriores. 52
6.4.6 Etapa 5 analisis y conclusiones de resultados 55

7 . ANÁLISIS DE RESULTADOS 67
8 . CONCLUSIONES 68
9 . RECOMENDACIONES 69
10 . REFERENCIAS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del proyecto,Bogotà. 30
Figura 2 Dimensiones de vigas a Escalas real 39
Figura 3 Dimension de viga a escala reducida 40
Figura 4 .Lamina de acero 43
Figura 5 .Madera para formaleta 44
Figura 6 .Clavos de 1/4 44
Figura 7 .Materiales de Diseño 45
Figura 8 .Acero de Refuerzo Longitudinal 46
Figura 9 . Viga con lamina de acero Ahderida 46
Figura 10. Ahderente Sika 47
Figura 11 .Formaleta para vigas 48
Figura 12. Diseño de Mezcla 48
Figura 13. Acero de refuerzo longitudinal y transversal 49
Figura 14. Realizacion de Fundida 50
Figura 15 Curado de vigas y Cilindros 51
Figura 16 .Aplicación de adhesivo a la lamina 51
Figura 17 .Fundida de Cilindros 52
Figura 18 .Falla de Cilindros 52
Figura 19 .Falla de Vigas sin Refuerzo 53
Figura 20. Falla de Vigas con Refuerzo 54
Figura 21. Falla de vigas con Pernos 54
Figura 22 .Elementos fallados 55
Figura 23. Elementos fallados 55
Figura 24 .figura2.4 Diagrama de momento curvatura para una viga de concreto reforzado con refuerzo de tensión solamente. 57
Figura 25 .Dimensiones de la sección trasversal de la viga 59
Figura 26. diagrama de momento de la viga 62
Figura 27 .diagrama de la seccion transversal de la viga 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones. 27
Tabla 2. Normas Astm , Icontec y NSR-10. 29
Tabla 3. Analisis de Variables. 33
Tabla 4. Presupuesto Proyecto de Grado 34
Tabla 5. Cronograma de Proceso de Construccion y Ensayos de las vigas y Cilindros. 35
Tabla 6. Alturas Permitidas por la NSR-10 para vigas. 38
Tabla 7. Cuantia para vigas en acero. 41
Tabla 8. Factores de Escala. 42
Tabla 9. Calculo del modulo de ruptura. 59
Tabla 10. Calculo de inercia de la seccion transversal. 60
Tabla 11. Calculo del momento de agrietamiento. 60
Tabla 12. Comprobar que con la cuantia minima y maxima . 61
Tabla 13. Calculo del momento ultimo. 61
Tabla 14. Calculos teoricos para vigas sin refuerzo externo 64
Tabla 15. Calculo para viga con refuerzo externo. 65
Tabla 16. Resumen de cargas y momentos de las vigas. 66
Tabla 17. Cargas de falla para las vigas. 66

ANEXOS

1.Diseño de mezcla para concreto 21MPa.

2.Resultados de falla de cilindros.

3.Certificados de calibración de equipo de laboratorio.

4.Planos estructurales.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto han solucionado las necesidades de megaconstrucciones que han permitido el desarrollo de los países; es tal el efecto que tienen las estructuras de concreto que las grandes capitales se destacan por sus maravillosas edificaciones y sobresalen unas de otras por sus grandes obras de infraestructura en este compuesto, además que es por excelencia un material resistente y seguro.

La investigación de las propiedades de este material están muy avanzadas tanto es asi que se encuentran diferentes agregados y aditivos en el mercado que hace que el concreto tenga comportamientos diferentes a ciertas edades y aumenten o disminuyan sus resistencias ;además que con modelos a escala se puede dar resultados confiables con un trabajo menos tedioso y de tipo investigativo.

Sin embargo el concreto solo no es funcional , debe estar unido a los aceros de refuerzo para crear una unión de materiales perfecta para la construcción, generando uno de los compuestos mas funcionales en el mercado de la construcción ya que las diferentes características mecánicas de cada material son complementarias una con la otra.

En la unión de estos materiales de construcción se puede generar una resistencia mas alta que trabajando cada uno individualmente ,sin embargo como todo material tiene una resistencia máxima que se acciona cuando sus partículas internas pierden la adhesión que existe entre ellas debido a unos esfuerzos aplicados sobre estos , lo que genera la rotura y por ende la falla del material, debido a que los módulos de agrietamiento de estos materiales son diferentes , pasara que falle primero un material que el otro y luego de esto , genere la rotura total debido al exceso de cargas recibidas por el concreto reforzado.

La necesidad de poder aumentar esta resistencia en estos elementos estructurales ya construidos es grande pese a que las demoliciones suelen ser engorrosas y complicadas dependiendo del sitio en el que se presente esta necesidad, es por eso que la posibilidad de reforzar estos elementos estructurales sin que sean destruidos ni modificados en su sección será muy viable a la hora de un reforzamiento estructural.

La mejor opción para un reforzamiento será utilizar materiales convencionales en construcción y que estén certificados por las normas que vigilan las edificaciones que en estos casos trata de la Reglameto Colombia de Construccion Sismo Resistente NSR.10 que rige la construcción en Colombia, tan es asi que un material

como el acero puede ser el más indicado para ser elegido como principal refuerzo estructural por sus ya conocidas caracteristicas mecanicas y por la facilidad de manejo y la mano de obra calificada para trabajarlo que por su trayectoria en la construccion ,sin duda alguna este material tendrá mas opciones de ser utilizado sobre otras opciones de reforzamiento.

1 . PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia de la construcción se han venido implementando códigos y normas para realizar un seguimiento de control riguroso de las personas que construyen, una de las razones principales de este seguimiento son los movimientos telúricos, los cuales pueden ocurrir en cualquier momento, estos hacen que una edificación mal construida al momento del fenómeno natural se derrumbe por no cumplir con ciertos parámetros de seguridad que se exigen a la hora de empezar una obra civil.

Uno de los principales problema es que estos códigos se empezaron a implementar en el país a raíz de movimientos telúricos ocurridos a lo largo del tiempo por tal motivo, las edificaciones construidas no tuvieron en cuenta los códigos de construcción, solo hasta el año de 1998 se reglamenta la norma sismo resistente en el país, por esta razón hay muchas edificaciones que en la actualidad no cumplen la norma, y se encuentran en un estado de vulnerabilidad frente a los movimientos telúricos.

El factor fundamental en un sismo, es su magnitud, que si se mide en la escala de Ritchter tendrá valores entre 0 a 10, si el sismo es de una intensidad baja puede que la vivienda resista y no se derrumbe pese al movimiento de tierras. Sin embargo en la los elementos estructurales de la edificación, se pueden presentar patologías y fallas, que limitan su uso determinado,los cuales pueden ocasionar pérdida total de la vivienda y en casos fatales pérdidas de vidas humanas.

El cambio de uso en las edificaciones es otro factor que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar el estado de una estructura, pese a que el diseño de una edificación se calcula por medio de unos valores estándar que ofrece la norma sismo resistente (NSR-10) para definir las cargas vivas y muertas respecto al uso que se le vaya a dar a una futura edificación, entonces por ende todas las edificaciones no están diseñadas para aguantar el mismo tipo de carga y si esta es sobrepasada, tendrá consecuencias en los elementos estructurales como fisuramiento a lo largo de sus secciones.

Pese a la situación de los elementos estructurales debilitados se debe actuar con premura ya que esto no da espera y lo más importante de tener en cuenta son las vidas de personas de por medio y esto es un daño invaluable que no podemos remediar si no se actúa a tiempo; allí es donde se deben evaluar las posibilidades para mitigar los riesgos y decidir si se puede remediar con reforzamientos en sus elementos estructurales o si definitivamente está deteriorada y es necesaria su

demolición por prevención, por supuesto la mayoría pueden ser reforzadas ,esto en las partes donde se han visto más afectada como son los nodos que principalmente sufren por las fuerzas actuantes excesivas o las placas que son las que sufren las fuerzas en la mayoría del tiempo.

Las estructuras típicas están conformadas por el acero y el concreto por sus capacidades mecánicas y como cada uno cumple una función primordial en el conjunto estructural además las vigas que son las que transfieren la carga a las columnas se ven debilitadas, se pensaría que si existe un daño en alguno de estos elementos, la adición de materiales utilizados comúnmente en la construcción que sirvan como reforzamiento y estén avalados por la norma sismo resistente pueda influir en su resistencia y ayudar a mejorar las condiciones de una edificación , es allí donde se pregunta:

¿Cuál es el comportamiento de una viga de concreto con refuerzo adherido en láminas de acero, aplicándole una carga a flexión?

2 . ANTECEDENTES

El estudio de los reforzamientos se ha dado en varios ámbitos y con un sin número de variables; sin embargo, todos tienen un fin común en el que busca que la estructura tratada sea funcional y confiable respecto a las normas que rigen la construcción a nivel de la nación en donde se edifique, por eso algunas investigaciones que se relacionan con este tema, son de gran ayuda para el avance de esta investigación y poder tener resultados que afiancen la iniciativa de este proyecto que resulta de gran importancia a la hora de avanzar en la investigación. A continuación algunas de las investigaciones que fortalecen esta investigación, teniendo antecedentes a nivel internacional como:.

La investigación "análisis experimental del comportamiento de vigas de hormigón reforzado con barras GFRP bajo cargas estáticas y de impacto llevada a cabo por M. Goldston y A. Remennikov en la ciudad de Wollongong, Australia(2016). Muestra el uso de materiales diferentes a los tradicionales han ganado terreno en el ámbito de la construcción, tales como las fibras de polímero reforzado las cuales presentan características que aventajan sobre el acero principalmente por su peso, no son corrosivos y no conducen electricidad, además que se propone como refuerzo interno para las vigas .Se realizaron ensayos experimentales para la utilización del refuerzo interno en las vigas FRP (GFRP)[1], estos se realizaron a vigas de hormigón armado y se sometieron a dos tipos de carga en el laboratorio como lo son comportamientos estáticos y dinámicos arrojando buenos resultados frente a cargas dinámicas y aumento un 15-20% la resistencia del compuesto de hormigón en las vigas.

"Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero bajo el ciclo invertido del cortante" es una investigación realizada por Jun Wei Luo and Frank J. Vecchio en Farmington Hills, USA (2016)en donde se indaga sobre el concreto reforzado que ha sido objeto de experimentaciones para mejorar sus propiedades mecánicas, con ello poder reducir secciones y mejorar el peso de este compuesto, la adición de las fibras de acero es una de muchas investigaciones que tiene alrededor este

[1]GOLDSTON, M. and REMENNIKOV, A. Experimental investigation of the behaviour of concrete beams reinforced with GFRP bars under static and impact loading: En Engineering Structures, 15 de Abril 2016, volumen 113, págs. 220-232.

material y se han usado es su mayoría para el mejoramiento a nivel sísmico, en esta investigación se enfocan más en la caracterización a cabo de una reacción cíclica invertida de fibro-concreto reforzado de acero (SFRC[2] .

Fueron realizados los experimentos con muestras reforzadas con SFRC y con concreto convencional bajo condiciones de carga de cizalla en plano. Los resultados evidencian que las fibras de acero influyen en el comportamiento y el rendimiento del cizallamiento, también se establece la estabilidad en la ductilidad del material y el volumen del mismo.

Por otra parte esta investigación de falla y dureza de la fibra de acero de hormigón armado bajo tensión y cizalla (F) llevada a cabo por Bryan Erick Barragán en la ciudad de Cataluña, España (2002)[3]. Consta en el reconocimiento de las propiedades de los elementos que constituyen el hormigón armado, reforzado con fibras de acero y cuál es el comportamiento que tiene este refuerzo al verse sometido a cargas de diferentes modos como pueden ser de tracción o de cortante.

Una de las formas de caracterizar las muestras es realizando cilindros entallados de hormigón con resistencias altas y normales también con el refuerzo en acero y sin él; este método también es utilizado a la hora de extraer muestras de elementos de mayores dimensiones tipo cilíndricos, se realiza esto para probar en estas muestras parámetros de tenacidad y resistencia, esto realizado para estudios de comparación entre comportamientos uniaxial y flexo-tracción.

A medida de que se realizaron ensayos se quería comprobar la eficacia del refuerzo de acero contra cortante, se realizaron pruebas en vigas rectangulares y vigas “T” para así mismo estudiar el fenómeno de fractura que se presenta a nivel estructural, donde los resultados de la experimentación pueden ser usados a diseños próximos estructurales basados en los buenos comportamientos que presenten a la agitación de unos modos de cargas ensayados.

Otra investigación muy relacionada al tema “Vigas pre-esforzadas con refuerzo externo” encabezada por Juan José Ferrer Narváez realizada en la ciudad de Bogotá, Colombia (1998)[4] .Donde se expone como la ingeniería colombiana ha

---

[2] LUO, Jun Wey y VECCHIO, frank j.Behavior of steel fiber-reinforced concrete under reversed cyclic shear: In. ACI Structural Journal, January 2016, Volume 113, page.75-84 . ISSN 08893241

[3] BARRAGAN,Bryan Erick. Failure and toughness of steel fiber reinforced concrete under tension and shear: In. Universitat Politècnica de Catalunya España March 2002 . ISBN: 84-688-0736-2

[4] FERRER NARVAEZ ,Juan José. Vigas preesforzadas con refuerzo externo: En. Ingeniería e Investigación,tomo 41, Bogota D.C. 1998, págs. 16-20. ISSN 0129-5608,

venido incentivando los estudios a los compuestos en hormigón y la experimentación sobre estos con elementos metálicos para la mejora en las estructuras, uno de estos estudios ,como son los refuerzos externos en elementos pre esforzados, se probarían con cargas a flexión con resultados favorables en su resistencia a tracción, ya que el concreto no posee la misma resistencia a compresión que a tracción, el acero mejora esta falla haciendo un compuesto más solido para la construcción dando como resultado estructuras más resistentes a una cierta combinación de cargas.

3 . JUSTIFICACION

La necesidad de reforzar una edificación pese a la debilitación de sus componentes es primordial y porque no hacerlo con uno de sus componentes originales como es el acero [5]ya que este es necesario a la hora de fundir una viga siendo este el esqueleto y el que recibirá las cargas de flexión y permitirá que se deforme de manera permisible, lo más importante es que ayudara a reforzar en las partes donde se generó más daño y por seguridad en las secciones donde no se observa daño porque ayudara al reforzamiento uniforme y tendrá un mejor comportamiento frente a una fuerza actuante.

Las características del acero lo hacen como el elemento de mayor ductilidad en las estructuras, esto en términos permisivos y si las causas del deterioro de la estructura provocaron fisuras que pueden ser prevenidas por el acero[6], esto será compatible con este .ahora por sus propiedades mecánicas ayudara también a no solo reforzarla sino que además frente a otro evento de fuerzas actuantes adicionales, el acero funcionara como el elemento dúctil que es y no dejara que la estructura se desintegre, por el contrario , como el acero funciona mejor a tracción que a comprensión este permitirá un ligero movimiento de deformación y luego volverá a su estado original siempre y cuando no se excedan sus capacidades mecánicas.

Otra de las ventajas que posee el acero es que puede aportar en el reforzamiento de las vigas deterioradas, esto empezando primero en identificar las fallas que tiene la estructura y cuando esto se tenga se preparan una serie de láminas del tamaño que se necesiten bien puede que sean estándar todas o que se necesiten un tamaño especifico, el acero se podrá moldear dependiendo al tamaño que sea necesario para la restructuración y además se elegiría cual fuese

---

5FERRER, Juan José. Vigas Pre- esforzadas con Refuerzo externo: En Ingeniería e Investigación, diciembre de 1998. Nº. 41, págs. 16-20. ISSN 0129-5608,

[6] LUO, Jun Wey y VECCHIO, frank j.Behavior of steel fiber-reinforced concrete under reversed cyclic shear: In. ACI Structural Journal, January 2016, Volume 113, page.75-84 . ISSN 08893241.

el espesor necesario dependiendo del tipo de falla que se va a tratar, lo bueno del material es que es un material usado en la construcción y ya se tienen registros de ensayos de todo tipo, ósea que conocemos sus propiedades mecánicas y nos ayuda a elegir cierto tipos de aceros para poder emplear.

En el mercado existen diferentes maneras de reforzamiento para fisuras en elementos estructurales, esto es una buena iniciativa de las empresas fabricantes de los productos pero tienen un gran problema de por medio y es que en Colombia la reglamentación para la construcción de edificaciones sismo resistentes (NSR-10) tiene como a manera de información para las personas involucradas en el tema de la construcción los diferentes materiales con los que se trabaja en este medio, entonces se deben respetar y cumplir los requisitos que nos da la norma, además porque los materiales que se usan según la reglamentación, ya tiene resultados de ensayos de resistencia y se sabe cómo se comporta un material en determinada situación entonces no se pueden usar elementos para restauración que no estén reglamentados por la norma, lo importante de esta información es que el objeto de estudio de la investigación es que para el reforzamiento se va a usar un material que está reglamentado y permitido para la construcción en Colombia además que sabemos su comportamiento nos puede dar la confiabilidad de trabajo como lo es el acero y tener un factor de confiabilidad a la hora de implementarlo.

4 . OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar el comportamiento mecánico mediante el uso de un refuerzo externo en láminas de acero para una viga de concreto aplicándole una carga a flexión.

4.2 ESPECIFICOS

- Identificar la capacidad de carga que soporta la viga al ser expuesta a una carga puntual con el refuerzo externo adherido.

- Comparar el comportamiento de una viga de concreto con reforzamiento externo a una viga de concreto sin reforzamiento externo.

- Determinar los porcentajes de aumento de carga entre una viga con reforzamiento y otra viga sin reforzamiento.

5 . MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Introducción en el diseño por flexión de vigas en concreto.

"En las vigas de concreto, en particular cuando forman parte de pórticos resistentes a cargas gravitatorias y de sismo, los esfuerzos de flexión son los que deberían controlar el diseño., por lo general los extremos de las vigas son los lugares seleccionados para comenzar a rotularse plásticamente a los efectos de disipar la energía del sismo o carga expuesta. Es por ello que la falla primaria debería ser iniciada por la fluencia de sus armaduras en tracción. Se deben evitar fallas de corte, de adherencia, de anclaje y de inestabilidad por pandeo. Además, bajo cargas de servicio se deben satisfacer los requerimientos de rigidez, los cuales se verifican manteniendo las deformadas por debajo de los niveles admisibles"[7].

Determinar los porcentajes de diferencia entre una viga con reforzamiento y otra La agrupación de las cargas gravitatorias y las cargas de sismo dan como resultado la distribución de los estados de carga, momentos en los pórticos que determinan los análisis del diseño de la viga en los niveles de cargas en que no cumple, según sea este diseño de vigas y de columnas, cuando se emplea una carga gravitatoria se emplea la restricción de los momentos .

Los momentos se presentan negativos en ciertas zonas de la viga, esta deberá compensar la reducción incrementando los momentos , generalmente los incrementos de estos momentos son positivos y se realizara para los momentos más negativos., en donde permita realizarse la modificación sin la falla de los resultados iniciales, deberá evaluara un equilibrio entre los momentos, en que los momentos negativos y positivos sean de igual magnitud. Dando como resultado una armadura de digas para flexión, sea esta simple y simétrica en las secciones de la viga.

[7] NILSON, Artur H. Diseño de estructuras en concreto. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., Copyright O 1999, p. 62.

Los parámetros en cuanto al criterio de los momentos más críticos en la viga ubicados en las caras de la viga, siendo en esta viga las caras opuestamente anteriores a las columnas interiores, estando estas provocadas por las fuerzas de carga o fuerzas sísmicas que sufre la estructura en este caso la vigas, provocando la veta, la igualación de momentos en ambos lados de la columna es evitar el anclaje de la armadura de flexión en las vigas en el interior de la unión viga-columna., siendo el caso en que se permita el emplear momento en ambos lados y estos sean diferente y el pertinente anclaje no se realice en el nudo, el mayor momento es que determinara las condiciones del diseño, por tanto se generaría una resistencia al otro extremo de la armadura de la viga creando una sobre resistencia que no es pertinente no aceptada.

Cuando se emplea la máxima capacidad de momentos positivos que son permitidos por la norma se puede presentar un exceso en la demanda de derivadas cuando plantamos un análisis elástico para ello, por lo cual se establece que para las diferentes zonas de rotura plástica, la viga debe presentar su armadura de compresión (A´s) por lo menos ser igual al 50 % de la armadura de la viga (A´s) en tracción[8] , se toma este para metro con el fin de la presencia de la armadura que se presenta a compresión en esta do de flexión pueda contribuir a un adecuado estad de ductilidad, cuando a estas se le presenten momentos negativos pero estos momentos negativos sean en gran escala, pudiendo este suministrar el más bajo grado de resistencia o lo momentos positivos y que este cumplas con la incertidumbre en la modelación delas cargas y la estructura.

Empleándose esto cuando los momentos en las vigas y columnas más críticas en las cuales etas son sometidas a fuerzas compresión o de tracción, tomando como punto determinante el editar las armaduras a flexión en las vigas y columnas.

5.1.2 Flexión de vigas homogéneas:

La flexión de vigas homogéneas se emplea en la utilización de vigas homogéneas estas son fabricadas de un mismo material, las vigas de concreto reforzados, son vigas que se su fabricación se basa en dos tipos diferentes de materiales el acero y el concreto. Los métodos de evaluación para las vigas que se realizan en concreto y acero (vigas reforzadas) son totalmente diferentes las realizas con solo acero,

[8] T.Y.LIN. Diseño y construcción de concreto preesforzado: CONTINENTAL, S.A. de México, Mayo de 1982, p. 41.

concreto, madera o cualquier otro material estructural. curioso es que los principales fundamentos analíticos que los comprenden son si esencialmente los mismos.

En cualquier sección transversal existen fuerzas internas que pueden descomponerse en fuerzas normales y tangenciales a la sección. Las componentes normales a la sección son los esfuerzos de flexión (tensión en un lado del eje neutro y compresión en el otro); su función es la de resistir el momento flector que actúa en la sección. Las componentes tangenciales se conocen como esfuerzos cortantes que resisten las fuerzas transversales o cortantes[9], fundamentalmente existen algunos ítems que corresponden con la flexión y con el cortante por flexión que son los siguientes:

- Las fuerzas en la mayoría de los sistemas de vigas se emplean las secciones transversales, existen fuerzas internas que siendo estas fuerzas normales y tangenciales dependerán de la distancia a la que se encuentren del eje y se podrá comprobar en la modelación inicial de las secciones de las vigas.
- El sistema de componentes que se emplea son las normales que se presentan en la sección son los esfuerzos a deflexión, tomadas como tensión en un eje del lado neutro y compresión en el otro, su función es la de resistir el momento flector que se presenta sobre a la sección.
- El sistema de componentes que se emplea también las tangenciales se conocen como esfuerzos cortantes que resisten las fuerzas transversales o cortantes.

Las secciones transversales planas son aquellas que antes de que se presente la carga o sometida a la aplicación de la carga permanecen iguales, sus características no cambian., significando que las deformaciones unitarias en las vigas por encima y por debajo de son neutras, siendo estas proporciónales al eje en que estas se son distribuidas.

[9] DOMINGUEZ, Carlos cesar: desarrollo de algoritmos para el análisis y diseño de elementos de concreto reforzado con base en la NSR-10. Medellín ,2013 ,166h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingenieria. Disponible en línea < http://evirtual.lasalle.edu.co/ >.

Los esfuerzos que se presentan en flexión (f) según su deformación unitaria dependen de la localización del punto en que se implementa la carga, de igual forma en que se presenta en el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria., siendo como diferencia que el material sea homogéneo el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria se representa en tensión y en compresión.

La deformación unitaria máxima exterior menor que a la deformación interna, tomando la orientación en las caras expuesta a la carga, hasta la cual los esfuerzos y deformaciones son proporcionales dependiendo el material empleado[10], siendo los esfuerzos de compresión y tensión en cualquier sección del eje siendo estos proporcionales a la distancia entre los ejes.

La viga en su parte externa, donde e > ep, los esfuerzos y deformaciones unitarias no son proporcionales, en estas zonas, la magnitud del esfuerzo para cualquier nivel, la flexión se plantea de un nivel externo a un nivel interno en el caso de da una viga que es expuesta a una carga simplemente apoyada, tomando los diagrama esfuerzo-deformación unitaria del material. Siendo la deformación unitaria la viga en su punto de esfuerzo en un punto es el mismo del diagrama esfuerzo-deformación unitaria representado en el mismo análisis de los diagramas de esfuerzos – deformación.

Las implementaciones de los esfuerzos son características principalmente en los esfuerzos cortantes V, en la altura de la sección son dependientes de la forma de la sección transversal y del diagrama esfuerzo-deformación unitaria. Los esfuerzos constantes cunado son máximos en el eje neutro e iguales acero en las fibras exteriores, e desarrollo de los esfuerzos cortantes en Los esfuerzos cortantes en planos horizontales y verticales a través de cualquier punto son iguales.

Con relación a la combinación de esfuerzos cortantes horizontales y verticales y de los esfuerzos de flexión, se presentan esfuerzos inclinados de tensión y compresión en cualquier punto de la viga, los factores en que se presentan el mayor ángulo de 90° grados con los demás ángulos. La magnitud del máximo esfuerzo inclinado o esfuerzo principal en cualquier punto.

[10] KERPEL K Enrique. Introducción al Análisis Plástico de estructuras de Concreto Reforzado. Colombia: Universidad Nacional De Colombia., Universidad Nacional De Colombia, 1981, p. 35.

5.1.3 Las vigas de concreto reforzado

Las vigas de concreto tienen deficiencia en los comportamientos a flexión pese a que el concreto tiene características mecánicas que hacen que tenga más resistencia a la compresión que a la flexión y la capacidad que resiste a la flexión es casi 10 veces menor. En consecuencia, estas vigas fallan en el lado sometido a tensión a cargas bajas mucho antes de que se desarrolle la resistencia completa del concreto en el lado de compresión[11]. Es por esto que el acero es un complemento que no puede faltar a la hora del armado este se colocara en las fibras inferiores donde más sufre el concreto con estos esfuerzos a tensión, conservando en todo caso una protección adecuada del acero contra el fuego y la corrosión. En una viga de concreto así reforzada, el acero se encarga de recibir los momentos flectores a tensión que se presenten, mientras que el concreto usualmente es capaz de resistir sólo la compresión por sus características mecánicas.

La utilización de barras corrugadas para la adherencia del concreto con el acero garantizara el funcionamiento de la viga además que no permitirá el movimiento interior en sus partículas y trabajara mucho mejor. El acero corrugado con su alta resistencia por adherencia en la interface acero-concreto y, si es necesario, mediante anclajes especiales en los extremos de las barras. La tendencia actual en el diseño de corrugas es disminuir la altura y separación entre ellas con el objeto de evitar tensiones elevadas en el hormigón[12] ;Para simplificar, el análisis que sigue se relaciona únicamente con vigas de sección transversal rectangular, aunque en la mayor parte de las estructuras de concreto son muy comunes los elementos con otras formas.

5.1.4 Resistencia a flexión:

Las cargas de diseño sirve para dimensionas las estructuras y con ello tener claro los cálculos de los esfuerzos y deformaciones en los elementos analizados Para las vigas de concreto reforzado esto puede hacerse mediante varios métodos ,uno de ellos la resistencia ultima, que suponen un comportamiento elástico en ambos

[11] DOMINGUEZ, Op.Cit. p.166

12 MOLINA HUELVA, Martha Comportamiento de estructuras de hormigón armado con una deficiente transferencia de tensiones hormigón-acero. análisis experimental y propuesta de un modelo de evaluación estructural. Madrid ,2005 ,250h. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de estructuras de Edificación. Disponible en línea < http://oa.upm.es/ >.

materiales. De igual manera, es importante que el ingeniero estructural sea capaz de predecir con suficiente precisión la resistencia última de una estructura o de un elemento estructural. El hecho de calcular la estructura con un combo de cargas que a lo largo del tiempo sean menores pese a los factores de seguridad utilizados, garantiza un margen adecuado de seguridad. Antes se utilizaban para este propósito métodos basados en el análisis elástico, como los presentados previamente, o variaciones de los mismos. Está claro, sin embargo, que para la carga última o cerca de ella, los esfuerzos dejan de ser proporcionales a las deformaciones unitarias. Se han desarrollado métodos de análisis más realistas para estimar la resistencia última basados en el comportamiento inelástico real (en vez de suponer el comportamiento elástico de los materiales) y en los resultados de una investigación experimental bastante amplia. Estos métodos se utilizan actualmente, en forma casi exclusiva, en la práctica del diseño estructural[13].

5.1.5 esfuerzo en elementos estructurales.

Se presenta en este trabajo un método poco conocido en nuestro medio, para el refuerzo deseado de concreto reforzado, sujetas a flexión o a cortante, que deban por algún motivo resistir cargas superiores a las de desafío. “El método fue utilizado inicialmente en Suráfrica (1964), y posteriormente en algunos países Europeos, en donde se ha llevado a cabo la mayor parte de las investigaciones acerca de su comportamiento. La experiencia Europea ha demostrado que el sistema funciona pero tiene algunos problemas, y no existe una metodología clara de diseño para el refuerzo adiciona! a colocar, teniendo en cuenta que el elemento estructura! que se va ha reforzar puede estar sometido a algún tipo de esfuerzos internos, en el momento de colocar el refuerzo” [14].

En el tipo de refuerzo adicional planteado intervienen tres materiales principales:

El primero es el acero, en donde se presenta de dos formas diferentes que son para los refuerzos longitudinales y para los flejes o refuerzos a cortante estos dos suelen

[13] NILSON, Artur H. Diseño de estructuras en concreto. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., Copyright O 1999, p. 710

[14] CIFUENTES CUFIENTES, Gustavo. Refuerzo de elementos estructurales mediante bandas de acero adheridas con recinas epoxicas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1999. P 14 - 15.

trabajarse con corrugado por la mayor adherencia que da cuando se funden con el concreto, que son en general acero tipo «Hot-Rolled».

El segundo material es el concreto, el cual cumple su mejor función al ser expuesto a esfuerzos a compresión acerca del cual se estudió su diagrama esfuerzo deformación, y en particular, la conveniencia de utilizar un modelo esfuerzo vs deformación parabólico, para su rama ascendente, con el objeto de estudiar los esfuerzos internos en las secciones de concreto reforzado, sujetas a un momento inicial menor que el momento Ultimo de las vigas (Momento que suponemos existe cuando se coloca el nuevo refuerzo).

El tercer material es la resina epoxica, que una vez mezclada con el endurecedor, y los modificadores de la formulación epoxica, endurecerá, y proveerá el mecanismo de advertencia necesario para mantener unidos al acero adicional y al concreto esto será más eficaz usando el acero corrugado mencionado anteriormente.

El concreto y el acero de refuerzo funcionan en conjunto de forma excelente en las estructuras de concreto reforzado[15]. Las ventajas de cada material compensan las desventajas del otro. Por ejemplo la gran desventaja del concreto es su falta de resistencia a la tensión; pero la resistencia a la tensión es una de las grandes ventajas del acero. Las varillas de refuerzo están expuestas a la corrosión, pero el concreto que lo rodea les proporciona excelente protección. La fuerza del hacer expuesto a temperaturas que se alcanzan en los incrementos normales es nula, pero su recubrimiento con concreto da como resultado calificaciones de prueba de fuego muy satisfactorias.

[15] MC CORMAC, Jack, BROWN, Russell. Diseño de Concreto Reforzado. Octava edición. Editorial Alfa omega .2011 México D.F. 713 p.

5.2 MARCO CONCEPTUAL

Tabla 1. Definiciones**.**

VIGA:	Las vigas son elementos estructurales que pueden ser de concreto armado, diseñado para sostener cargas lineales, concentradas o uniformes, en una sola dirección.[16]
ESFUERZO A FLEXIÓN:	El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.[17]
CARGA:	Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme. También llamada fuerza axial.[18]
CONCRETO REFORZADO:	El concreto reforzado es una de combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto.[19]

[16] NILSON, Artur H. Estructuras de concreto. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., Copyright O 2000, p. 62.
[17] MC CORMAC, Jack, BROWN, Russell. Diseño de Concreto Reforzado. Octava edición. Editorial Alfa omega .2011 México D.F. p 28.
[18] Ibid; p 40.
[19] Ibid; p 1.

VIGA REFORZADA:	Son estructuras reforzadas con acero liso o corrugado que es capaz de resistir el momento aplicado aunque se le provea de la cuantía máxima permitida.[20]
LAMINA DE ACERO:	Una lamina de acero caliente (HR) se realiza mediante el calentamiento del metal hasta que se vuelve maleable y luego se coloca a través de unos rodillos hasta que tenga el espesor deseado.[21]
ADHESIVO:	Corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el adhesivo con cada sustrato, el término de adhesión hace referencia al conjunto de los mecanismos y fuerzas situadas en una fina capa (capa límite) existente entre el sustrato y el propio adhesivo..[22]
PERNO:	El perno o espárrago es una pieza metálica larga de sección constante cilíndrica, normalmente hecha de acero o hierro.[23]

Fuente: propia

[20] NILSON, Artur H. Estructuras de concreto. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., Copyright O 2000, p. 1.

[21] PARRO. DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION { en línea }. { citado el 27 de Septiembre de 2016`}.{Disponible en lineo} < http://www.parro.com.ar/definicion-de-LAMINA+DE+ACERO >

[22] Ibid; { en línea }. { citado el 27 de Septiembre de 2016`}.{Disponible en lineo}

[23] Ibid; { en línea }. { citado el 27 de Septiembre de 2016`}.{Disponible en lineo}

5.3 MARCO LEGAL

Tabla 2. Normas Astm , Icontec y NSR-10**.**

NORMA	DESCRIPCION
ASTM D421-58 y d422-63	Análisis granulométrico
ASTM D854-58	Gravedad especifica de los solidos
INCOTEC 176	Método para la determinación de la densidad del agregado grueso
INCONTEC 237	Método para la determinación el peso y la absorción de agregados finos
ICONTEC 673 Y ASTM C31	Determinación de la resistencia a compresión en el concreto.
Norma sistema resistente (NSR -10)	Titulo B Titulo C

Fuente**: PROPIA.**

5.4 MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto de Refuerzo externo adherido en láminas de acero para vigas en concreto con comportamientos a flexión se desarrolló En la Universidad La Gran Colombia, en el departamento de Cundinamarca, Bogotá Distrito Capital en la Localidad número dos Chapinero.

Figura 1 Ubicación geográfica del proyecto,Bogotà.



Fuente: Google maps.

6 . DISEÑO METODOLOGICO

6.1 ENFOQUE

La investigación se realizó de tipo mixto porque combina las variables cualitativa y cuantitativa que se encarga en utilizar la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.[24]

Por lo tanto, la investigación se enfocó en la toma de resultados realizados para las vigas en concreto por medio de ensayos de cargas puntuales en la maquina universal de tal manera que se puedan evidenciar con unos patrones de carga los parámetros de resistencia de este compuesto que será expuesto hasta llegar a una condición de falla.

Por consiguiente luego de la toma de los resultados se realizó un análisis cuantitativo poniendo a prueba la experimentación de esta investigación en la cual se demostrara la importancia de la intervención del elemento estructural con el refuerzo externo, todo esto para también demostrar la viabilidad de esta opción de mejora para los elementos estructurales que presenten daños a nivel de su sección longitudinal.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló con el fin de realizar un análisis descriptivo en donde el objetivo principal es determinar el comportamiento para una viga de concreto con refuerzo adherido en láminas de acero aplicándole una carga a flexión, esto será un punto clave en la investigación en donde se analizara como en dos elementos estructurales en los cuales se realizaran los ensayos, unos reforzados con la lámina de acero y otros fallados en sus condiciones originales donde se podrá evidenciar y reafirmar la síntesis del aumento de la resistencia a la flexión en los elementos intervenidos con el refuerzo metálico.

---

[24] HERNÁNDEZ Roberto, FERNÁNDEZ Carlos and BAPTISTA Pilar, Metodología de la Investigación, 4ta Edición, México D.F, 2006, 1998,1991, Pag. 5

De forma que la investigación tendrá un enfoque mixto, los parámetros a medir serán secuenciales de acuerdo a la carga que se necesite para fallar los elementos estructurales, esto será importante también a la hora de la comparación con los elementos que se fallaran en condiciones no alteradas a nivel transversal ni longitudinal, la hipótesis a demostrar tendrá otros factores en cuenta como son las características del refuerzo a usar en los ensayos y el tipo de pegamento o adhesivo que unirá los elementos, de allí que será un factor que nos dará el éxito o fracaso en la experimentación.

Por lo tanto, a la hora de la manipulación de los datos se tendrá en cuenta también los imprevistos que se presenten ya sea en los refuerzos como en los elementos estructurales ensayados.

6.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DE INFORMACIÓN

La metodología que se trabajó en esta investigación fue mixta ,entonces se busca realizar **ENSAYOS DE CARGA A FLEXIÓN** en la Maquina universal de ensayos, esta parte dependerio de la capacidad de carga que tenga el equipo a utilizar y por ende se decidio si los elementos a fallar tuvieron un tamaño a escala real o si se realizó los mismos ensayos en secciones con una escala menor.

Los datos se registraron de acuerdo a la capacidad que soporte el elemento ensayado para así posteriormente ser clasificados y medidos con sus respectivas unidades para dar un veredicto final al ensayo y realizar el análisis de resultados.

6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 3. Analisis de Variables.

Nombre	Enfoque	Definición conceptual	Definición operativa	Categoría
Laminas metálicas	Cuantitativa	Las láminas dependen del ancho de la viga en donde va a colocarse para su posterior ensayo, esta no debe ser mayo a 5 milímetros debido al ensayo que realizaremos y tendrá una resistencia de fy:4200 kg/cm2	Tendrá la función de absorber los esfuerzos que se presenten a flexión ayudando a dar resistencia al elemento estructural y formar una unión que alargara la capacidad de carga del elemento en general.	Refuerzos laminados
Adhesivo	Cualitativa	El adhesivo a usarse debe ser tal que pueda haber unión entre elementos metálicos y elementos de concreto, sabiendo que el concreto ya se encuentra en estado sólido y con sus propiedades generales	Cumplirá con la adhesión entre los materiales y de este dependerá el éxito del ensayo ya que una mal funcionamiento deteriorara el experimento.	aditivos
Concreto	Cuantitativa	El concreto que se utilice será debido a un diseño de mezcla previo que garantizara una resistencia de 21 MPa o 3000 psi que será ideal para la prueba de laboratorio a realizar	Tendrá como función cumplir los parámetros de resistencia del concreto a los 28 días que es donde alcanza sus propiedades mecánicas plenas y tendrá una resistencia esperada para el ensayo	Material de construcción

Fuente: Elaboracion Propia .

Tabla 4. Presupuesto Proyecto de Grado

MATERIAL	PRECIO FINAL
CEMENTO	45000
ARENA DE RIO	24000
GRAVA	24000
SIKA AT-METAL	60000
TORNILLOS	5000
PLATINAS	44000
GRAFIL	19500
ALAMBRE DULCE	6000
ALAMBRE GALVANIZADO CALIBRE 14	12000
PISTOLA PARA APLICAR SIKA	8000
PUNTILLAS	4000
MADERA PARA FORMALETA	35000
ALQUILER HERRAMIENTAS	50000
AGUA	2000
MANO DE OBRA	85000
CORTE DE LAMINAS	10000
FIGURADO DE FLEJES	20000
CORTADO DE GRAFIL	20000
MEZCLA DEL CONCRETO	20000
TRANSPORTES DE PERSONAL Y MATERIAL	320000
TIEMPO PERSONAL ACTIVO	400000
ENSAYOS DE COMPRESION (FALLA DEL CONCRETO)	63000
ENSAYO DE FLEXION EN MAQUINA UNIVERSAL	600000
DISEÑO DE MEZCLA	500000
VALOR TOTAL PRESUPUESTO P.G.(COP)	2376500

Fuente: Elaboracion Propia .

Tabla 5. Cronograma de Proceso de Construccion y Ensayos de las vigas y Cilindros.

CRONOGRAMA		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO I.N.V. E – 410 – 07		
día fundido	28-sep16	fundida de vigas y cilindros para ensayos posteriores
día 7	5-oct-16	falla de cilindros (3) para saber su resistencia a los 7 días
día 14	12-oct16	falla de cilindros (3) para saber su resistencia a los 14 días
día 28	26-oct16	falla de cilindros (3) para saber su resistencia a los 28 días
día 30	28-oct16	falla de vigas con y sin refuerzo externo

Fuente: Elaboracion Propia .

6.4.1 Etapas del proyecto.

Para el buen desempeño de la investigación se procedió a dividirlo en etapas que demostraran con claridad el proceso que se llevó a cabo.

- **ETAPA 1. Análisis del elemento estructural y dimensionamiento.**

  • Pre dimensionamiento del elemento estructural (viga) teniendo en cuenta normatividad NSR-10.

  • Dimensionamiento del modelo a escala para ensayos de laboratorio.

  • cálculo de aceros para viga.

  • Planos estructurales y dimensiones del modelo último.

  • Detalle del refuerzo externo a colocar.

- **ETAPA 2. Obtención de materiales para obra.**

  • Compra de materiales para preparar las formaletas de fundición.

  • Compra de materiales para preparar el concreto que se va a utilizar.

  • Compra de los aceros de refuerzo longitudinal y transversal para el modelo a escala.

  • Compra del acero de refuerzo EXTERNO para modelo a escala.

• Compra del Epóxico a utilizar para la adhesión del concreto con el acero y pernos expansivos.

- **ETAPA 3. Proceso de obra a ejecutar**.

  • Preparación de formaletas en madera para fundición de elementos estructurales a escala.

  • Preparación de la mezcla del concreto de resistencia 3000 PSI (Previo a un diseño de mezcla).

  • construcción de las armaduras de refuerzo interno (canastillas) para las vigas.

  • fundición de los elementos (acero y concreto) en las formaletas.

  • Proceso de curado en las vigas y cilindros (sumergidas en agua albercas del laboratorio) .

  • Adhesión de láminas de acero externas con Epóxico y pernos expansivos.

  • Fundición en cilindros de 5cm x 10 cm para posterior falla de estos.

- **ETAPA 4. Ejecución de ensayos para análisis posteriores**.

  • Falla de cilindros a distintas edades de fundición (7, 14 , 28 Días).

  • Falla de vigas reforzadas y sin reforzar externamente después del proceso de curado y alcanzada la edad de la resistencia máxima (28 dias).

- **ETAPA 5. Análisis y conclusiones de resultados.**

  • Análisis visual de los elementos fallados en el laboratorio.

  • Análisis matemático de los resultados obtenidos por los laboratorios.

  • porcentajes de errores de los equipos y del personal técnico en los procesos.

  • Recomendaciones posteriores a tomar en cuenta en próximos ensayos.

6.4.2 Etapa 1. Análisis del elemento estructural y dimensionamiento.

- **Análisis y Diseño.**

Con el motivo del desarrollo de la investigación se escogió un modelo estructural de tipo elástico e indirecto, para su pertinente falla a flexión, debido a que sus especificaciones se ajustaban a las necesidades de la investigación.

El método que se utilizó para el diseño de las vigas fue el de Resistencia Última, pese a que el elemento no se diseñó para cargas especiales, pero si se eligió el tipo de resistencia que debe tener el concreto en los ensayos y se determinó utilizar un concreto de 3000 PSI, esto también para saber cuál será el rango de carga en donde el concreto empieza a presentar fallas en su sección longitudinal y transversal.

Los factores de seguridad para este diseño estructural no fueron tomados en cuenta debido a que el objetivo de la investigación es revelar la carga máxima que pueda resistir las vigas con el refuerzo interno y externo. Se trabajaron dos tipos de vigas:

Las vigas en su comportamiento normal, sin ningún tipo de material adherido o pernada, que en este caso serían las láminas metálicas .Las vigas con refuerzo externo que en este caso se usaron platinas HR de 1/8” x 2”.

- **Pre dimensionamiento del elemento estructural (viga) teniendo en cuenta normatividad NSR-10.**

(1) se calculó la cuantía del refuerzo en relación del obtener un balance entre la cuantía mínima y máxima que se reglamenta en la NSR-10. Para el diseño de la viga reforzada partimos de un esfuerzo en el concreto igual a 0.85f`c distribuida uniformemente sobre una zona equivalente de compresión, limitada por los bordes laterales de la sección transversal y por una línea recta paralela al eje neutro, localizada a una distancia a= β1c de la fibra máxima deformación unitaria sometida compresión.

(2) Pre dimensionamiento del elemento: teniendo en cuentas los parámetros reglamentarios de la NSR-10 en el titulo **C.9.5.2.1** donde se debe tener en cuenta la altura del elemento estructural mediante la siguiente tabla:

Tabla 6. Alturas Permitidas por la NSR-10 para vigas.

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Fuente: NSR – 10 Titulo C concreto .

Existe una corrección a esta tabla en el mismo título pero corresponde para elementos que soporten particiones livianas o muros divisorios que por ende es más estricta que la anterior, sin embargo para esta investigación no será tomada en cuenta.

- **Dimensionamiento del modelo a escala para ensayos de laboratorio.**

En el pre dimensionamiento se detectó una dificultad al realizar los modelos de los elementos estructurales a una escala real debido a que para esto se debían tener maquinas en el laboratorio que tuvieran una capacidad de carga admisible mínimo para fracturar los elementos que se iban a ensayar, por esta razón se optó por pre dimensionar unos modelos a escala reducida de tal manera que representaran lo que se pretendía en los objetivos y dar resultados creíbles y sensatos, la gran dificultad al realizar estos modelos es encontrar los materiales que asemejen las propiedades mecánicas de los elementos estructurales con los que se trabajan habitualmente.

Se trabajó con unas técnicas de escala en donde se presentan unos factores que asemejan los resultados reales y así satisfacer la investigación, para la geometría del material no hubo problema debido a que esta no tiene factores de modificación.

Para el modelo se escogió una viga en escala real a criterio del investigador que cumpliera con los parámetros de la NSR-10 :

- Para la altura se tuvo en cuenta que como el modelo va a ser simplemente apoyado y nervada en una dirección, por ende la opción que nos aplicaba fue:

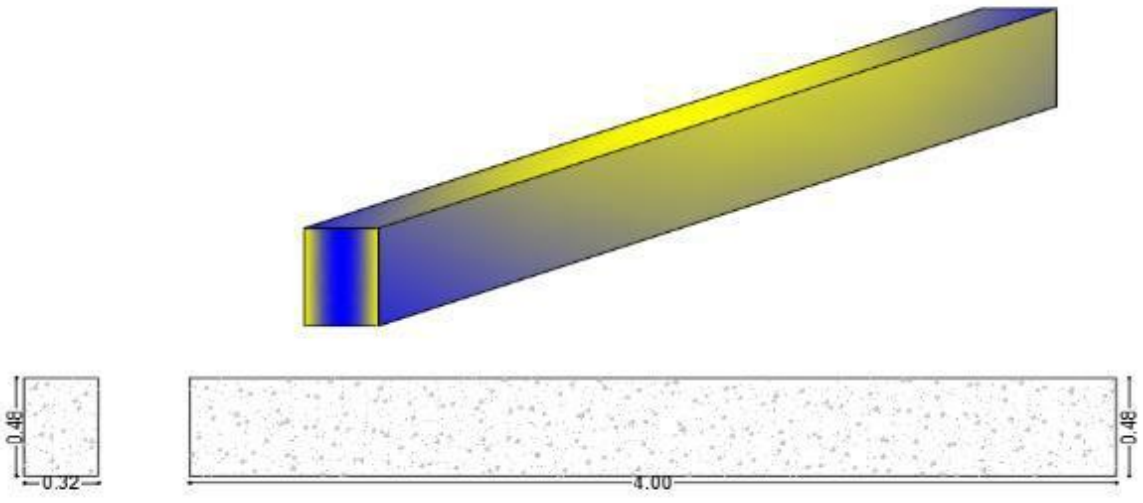
L/16 (1)

- Para la base de la sección transversal se tuvo en cuenta la relación:

H=1,5*B (2)

Dicho esto, se pre dimensionó una viga a escala real de 4m de largo por 0.32m de ancho y de alto 0.48m que cumplen las expresiones (1) y (2).

Figura 2 Dimensiones de vigas a Escalas real



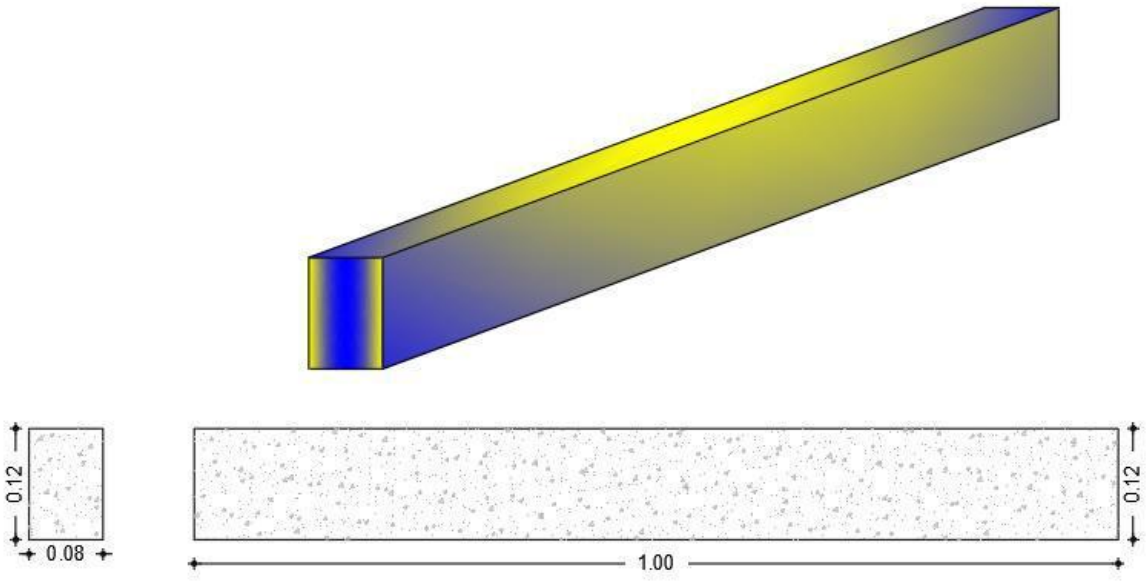
Fuente: Propia.

Para el modelo a escala se eligió para la geometría del elemento manejar una escala de 1:4 que nos dará una sección razonable para el análisis posterior y además tendrá unas medidas favorables para los posteriores ensayos de laboratorio además que la fabricación de este prototipo también sería más fácil a la hora de la fundición.

En cuanto a los refuerzos para el modelo a escala reducida se realizó un previo tanteo que nos permitiera saber si con las dimensiones establecidas se podría construir las respectivas armaduras del elemento y que tuviese las características mecánicas que debe poseer estos aceros, de tal manera que cumpliese a cabalidad la unión de estos elementos y uno al otro complementarse mecánicamente.

La fuerza a aplicar a estos elementos a escala reducida fue uno de los factores para realizar la reducción en las dimensiones del prototipo por lo que se necesita un campo de carga que nos pudiera reproducir un evento en la vida real y revisar el comportamiento de estos elementos.

Figura 3 Dimension de viga a escala reducida



Fuente: Propia.

- **Calculos de acero para vigas**

Se realizó para los modelos a escala reducida el cálculo de los aceros, debido a que no se tenía un avaluó de cargas por lo que se va a evaluar no es un modelo que tenga unas cargas de diseño se optó por usar un valor de la cuantía promedio que no rebasara la cuantía máxima si fuese inferior a la cuantía mínima que exige la norma NSR-10 la cual dice en el titulo C.14.3.2 — La cuantía mínima para refuerzo vertical es ρ min = 0.0033.y la cuantia máxima =0.0155.[25]

Tabla 7. Cuantia para vigas en acero.

CUANTIA MIN	CUANTIA MAX	CUANTIA REAL	AS= P *D*B(MM2)	
0.0033	0.0155	0,01488372	128	CUMPLE

Fuente: Propia **.**

[25] MC CORMAC, Jack, BROWN, Russell. Diseño de Concreto Reforzado. Octava edición. Editorial Alfa omega .2011 México D.F. pag 652.

Tabla 8. Factores de Escala.

grupo	cantidades	Dimensión	Modelo Real	Modelo Real Práctico	Modelo distorsionado caso(1) Figura 2.2	Modelo distorsionado caso (3) Figura 2.3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Propiedades relativas al material	Esfuerzo del concreto, σ	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Deformación del concreto, ε	----	1	1	S_ε	S_ε
	Modulo del concreto, E	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ/S_E	S_σ/S_E
	Relación de Poisson, v	----	1	1	1	1
	Peso especifico, γ	FL^{-3}	S_σ/S_L	$1/S_L$	S_σ/S_E	S_σ/S_E
	Esfuerzo del acero, σ_r	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Deformación del acero	----	1	1	S_E	S_E
	Modulo del acero	FL^{-2}	S_σ	1	1	1
	Esfuerzo de adherencia	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	a
Geometría	Dimensiones lineales, l	L	S_L	S_L	S_l	S_L
	Desplazamiento,δ	L	S_L	S_L	S_ES_L	S_ES_L
	Desplazamiento angular, β	----	1	1	S_ε	S_ε
	Área de refuerzo, A_r	L	S_L^2	S_L^2	S_L^2	$S_\sigma S_l/S_\varepsilon$
cargas	Cargas concentradas, Q	F	$S_\sigma S_L^2$	S_L^2	$S_\sigma S_L^2$	$S_\sigma S_L^2$
	Cargas lineales, w	FL^{-1}	$S_\sigma S_L$	S_L	$S_\sigma S_L$	$S_\sigma S_L$
	Cargas de presión, q	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Momentos, M	FL	$S_\sigma S_L^3$	S_L^3	$S_\sigma S_L^3$	$S_\sigma S_L^3$

Fuente: metodologia par realizar modelos de concreto reforzado a escala reducida p 13 .

Para encontrar una escala adecuada para el prototipo se realizaron varios diseños con diferentes escalas, y se encontró que lo mas adecuado era una escala 1:5, teniendo en cuenta que la fabricación de estos modelos a escala necesita de tolerancias dimensionales adecuadas es decir, que el tamaño encontrado era apropiado para su construcción. Uno de los requisitos para la modelación de elementos estructurales es encontrar la similitud en geometría, en materiales y establecer las intensidades de carga. Para estos modelos a escala, los problemas estructurales se encuentran en términos de fuerza y de dimensionamiento, por esta razón, el factor de escala no es el mismo para todas las variables del elemento estructural a estudiar es decir, para realizar un modelo a flexion en concreto reforzado se tiene que considerar el peso propio mas la carga a aplicar, tanto para la escala real como el modelo a escala reducida. Esto no implica que el criterio de la falla de la viga a escala real cambie respecto al modelo a escala reducida.

- **Detalle del refuerzo externo a colocar.**

caracteristicas de lamina metalica.

Lamina de acero de 2” (5 cm) por 3 mm (1/8”) de ancho, la lamina sera puesta en la parte inferior de la viga donde la viga sufre los esfuerzos de tension, esto como hipotesis del proyecto para probar su resistencia mecanica a la carga a flexion.

Figura 4 .Lamina de acero



Fuente: Propia.

6.4.3 Etapa 2. Obtención de materiales para obra.

En la etapa numero dos se empezó a trabajar con los materiales de fabricación las vigas, el encofrado, los análisis de materiales de fabricación de los concretos.

- **Materiales para preparar las formaletas de fundición.**

Con el fin del análisis de resultados se realizaron 6 formaletas de madera tipo A cortándolo a unas dimensiones de 1 metro por 12 cm y 8 cm

Figura 5 .Madera para formaleta



Fuente: Propia

Se implementan puntillas de ¼, con el fin de que estas generen el cierre del cajón y este sea lo suficiente mente fuerte para la realización de la fundidad de las vigas en su interior.

Figura 6 .Clavos de 1/4



Fuente: Propia

- **Materiales para preparar el concreto**

Para la elaboración de concreto según las especificaciones planteadas en el diseño de mezcla, como primer paso se realizo una descripción de los materiales que utilizamos.

El primer material fue el cemento Portland tipo I, pues su adquisición de mayor facilidad debido a que la mayoría de las concreteras del país lo fabrican como un

hormigon, con la propiedad básicas y necesarias de un cemento, según las especificaciones de las normas ICONTEC para su fabricación y su desarrollo

El segundo fue de parte de los agregados, utilizando de ello arena de rio, con procedencia de subachoque (Cundinamarca).

Como proceso para los agregados se empleó los análisis necesarios, presentados en el diseño de mezcla, los ensayos de granulometría, índice de aplanamiento y alargamiento, ensayo de caras fracturadas, ensayo de solides en sulfatos, ensayo en desgaste en la máquina de los ángeles, absorción del agregado, masa unitaria suelta.

Figura 7 .Materiales de Diseño



Fuente: Propia.

- **Aceros de refuerzo longitudinal y transversal para el modelo a escala.**

Para la viga diseñada con acero de refuerzo se implementó una varrilla corrugada No 2 o ¼ de pulgada., la cual se por su diseño corrugado presenta la características necesaria para su mayor ahderencia.

Las dimenciones de este acero de refuerzo son determinadas por la longitud de la viga en el sentido longitudinal y los estribos dictan el sentido transversal, por lo cual

es corte se realiza con estas especificaciones para el acero que serian de 1 metro por 4 cm.

Figura 8 .Acero de Refuerzo Longitudinal



Fuente:Propia.

- **Acero de refuerzo externo para modelo a escala**

Para el diseño de las vigas escaladas y en función de su refuerzo externo se va a implementar lamina de acero de 2” (5 cm), por consiguiente será adherida a las vigas en los dos métodos a implementar, la emulsión adherente y la implementación de pernos.

Figura 9 . Viga con lamina de acero Ahderida



Fuente: propia

- **Epóxico a utilizar para la adhesión del concreto con el acero y pernos expansivos**.

La implementación del adhesivo elástico de poliuretano, alta tecnología, especial para metal, Sika Bond AT – Metal, es un adhesivo elástico, libre de solventes para sustratos porosos y no porosos, especialmente para metales. SikaBond AT-Metal tiene base Polímeros Sileno Terminados

Figura 10. Ahderente Sika



Fuente: Propia.

6.4.4 Etapa 3. proceso de obra a ejecutar.

- **Formaletas en madera para fundición de elementos estructurales a escala.**

Con el fin del análisis de resultados se realizaron 6 formaletas de madera tipo A, para la impermeabilización se utilizó ACPM y para los encofrados utilizamos un papel de tipo vinipel de encofrado de un color claro para que los terminados de la viga sean excelentes, utilizando para su unión clavos de ¼ en su extensión cada 20 cm para la consistencia en el vaciado.

Figura 11 .Formaleta para vigas



Fuente: Propia.

- **Reparación de la mezcla del concreto de resistencia 3000 psi (previo a un diseño de mezcla).**

Para el preparación de el concreto utilizamos el diseño de mezcla que fue suministrado por parte de el laboratorio contrado, especificadolo en el anexo No 1, resultados de los materiales y diseño de mezcla.

Figura 12. Diseño de Mezcla



Fuente: Propia

- **Construcción de las armaduras de refuerzo interno (canastillas) para las vigas.**

Para la viga diseñada con acero reforzado se implementó una varrilla corrugada No 2 pulgadas (¼) con un refuerzo transversal se implementó con alambre de calibre 14.

Las dimensiones de los aceros utilizados son previmento establecidas y cortadas con el fin de un perfeccion en el terminado de las armaduras internas con lo cual se optimiza el refuerzo interno de las vigas, la separacion de los estribos fue dada por la relacion d/2 que es la distancia de la parte superior de la seccion transversal hasta el eje neutro del refuerzo inferior de la viga que en el caso del proyecto dio 10,75 cm , es decir la separacion no debia ser mayor a 5,37 cm;se opto por dejar una separacion de 4 cm a lo largo de toda al longitud de las canastillas.

Figura 13. Acero de refuerzo longitudinal y transversal



Fuente: Propia

- **Fundición de los elementos (acero y concreto) en las formaletas.**

En el proceso de fundición de concreto y acero se llevo acabo el diseño de la mezcla según las especificaciones tenidas para ello, ene le mismo moemeto de la de fundidad del concreto se realizo la puesta del las armaduras metalicas en los encofrados y se realiza la fundicion.

Figura 14. Realizacion de Fundida



Fuente: Propia.

- **Proceso de curado en las vigas y cilindros (sumergidas en agua albercas del laboratorio) .**

El proceso de curado se realiza introduciendo las vigas escaladas y los cilindros de prueba del concreto en un piscina, la cual tiene las dimensiones apropiadas para que estas se cubran en su totalidad de agua y genere un proceso de fraguado y se evidencia a los 28 días su resistencia óptima.

Figura 15 Curado de vigas y Cilindros



Fuente: Propia.

- **Adhesión de láminas de acero externas con epóxico y pernos expansivos.**

La implementación de este adhesivo, consta de una capa de 3 mm en la lámina de acero a adherir en la viga de concreto a escala, para cada uno de los casos, por norma de implementación (Normas de manejo de materiales adherentes Sika) se recomienda que se le permita un secado de 24 horas antes de su puesta en servicio.

Figura 16 .Aplicación de adhesivo a la lamina



Fuente: Propia.

- **Fundición en cilindros de 5cm x 10 cm para posterior falla de estos.**

Con el concreto preparado según las especificaciones del diseño de mezcla se toma una porción de concreto para el cilindro de 5 cm por 10 cm, elaborados con tubos

de 2 pulgadas e impermeabilizarlos con ACPM, siguendo la norma ASTM C31, donde se tomo la menor sección permitida para los moldes de los cilindros, luego se funden los cilindros de prueba de resistencia del concreto.

Figura 17 .Fundida de Cilindros



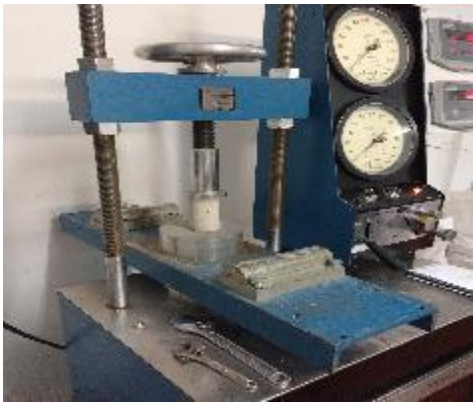
Fuente: Propia.

6.4.5 Etapa 4. ejecución de ensayos para análisis posteriores.

- **falla de cilindros a distintas edades de fundición (7, 14 , 28 dìas).**

Los cilindros se fallaron en la maquina de compresión los cuales arojan los datos de resistencia a las diferentes edades de concreto las cuales son tomadas para este proyecto de 7, 14 y 28 dìas de resistencia.

Figura 18 .Falla de Cilindros



Fuente: Propia.

Los resultados de la falla de los cilindros en sus diferentes edades se encuentra en el anexo No 2

- **Falla de vigas reforzadas y sin reforzar externamente después del proceso de curado y alcanzada la edad de la resistencia máxima (28 dias).**

Las vigas luego de el tiempo de curado el la piscina cubiertas de agua en el total de su superficie, se realiza en la maquina de carga a flexion, la falla de las vigas sin ningún recubrimiento y analizando los datos de la maquina, según su carga aplicada.

Figura 19 .Falla de Vigas sin Refuerzo



Fuente: Propia.

Las vigas luego de el tiempo de curado se les realizó la adherencia de la lamina de arero con ahdesivo en emulcion de Sika las cuales fueron dos y con implementando pernos y realizando la falla en la maquina de carga y analizando los datos de la maquina, según su carga aplicada para cada caso

Figura 20. Falla de Vigas con Refuerzo



Fuente: Propia.

Figura 21. Falla de vigas con Pernos



Fuente: Propia.

6.4.6 Etapa 5 analisis y conclusiones de resultados

- **Análisis visual de los elementos fallados en el laboratorio.**

Los elementos fallados en el laboratotio son el resumen del proceso investigativo el cual se resumen en el análisis de resultados y los datos, comparando las ecuaciones de momento ultimo añadiendo como resistencia de mas la lammina de acero que actuo como refuerzo externo.

Figura 22 .Elementos fallados



Fuente: Propia.

La vigas luego de su exposición a carga y falla, permite generar los análisis internos del comportamiento de concreto con el acero, lo que determino el buen comportamiento de los componentes de cada viga, como se tenia previsto.

Figura 23. Elementos fallados



Fuente: Propia.

- **Analisis matemático de los resultados obtenidos por el laboratorio.**

Para una viga que va a ser evaluada a un comportamiento a flexión en el cual se le va a colocar una carga transversal sobre su superficie y esta se va incrementando gradualmente hasta obtener una fatiga en el elemento estructural, estos fenómenos se analizaran de tal manera que diferenciemos las etapas cuando el concreto no este agrietado como primera etapa, la segunda etapa con esfuerzos elásticos y concreto agrietado y por último la etapa de resistencia ultima.

A. Etapa del concreto no agrietado

El concreto suele tener esfuerzos mínimos cuando son aplicadas cargas pequeñas, estos esfuerzos suelen ser menores que el módulo de ruptura que es cuando se empiezan a evidenciar grietas a lo largo de la sección del concreto, en la viga haciendo un corte transversal se evidencian que los esfuerzos son de compresión en la cara donde es aplicada directamente la fuerza y esfuerzos de tensión en la cara opuesta de la sección transversal.

B. Etapa de esfuerzos elásticos; concreto agrietado.

En el momento en que la carga aumenta su magnitud los esfuerzos aumentan y por ende superan el módulo de ruptura, allí se empiezan a evidenciar las fisuras en el concreto en la cara opuesta a la que se aplica la fuerza, este fenómeno se conoce como momento de agrietamiento que es cuando los esfuerzos de tensión se igualan al módulo de ruptura. Las grietas empiezan a ganar terreno en la sección hasta acercarse al eje del elemento, ya en esta parte del proceso el concreto cumplió su función y los refuerzos de acero empiezan a actuar, el acero se empezará a flectar siempre y cuando los esfuerzos aplicados no superen el límite elástico del acero.

C. Etapa de resistencia ultima.

A medida que los esfuerzos siguen aumentando, obviamente las grietas siguen ganando camino en la sección superando el eje neutro del elemento estructural y los esfuerzos de compresión dejan de ser lineales y se supondría que los refuerzos internos han dejado de trabajar llegando a su punto de limite plástico y más adelante su ruptura. En esta etapa en la cara donde es aplicada la fuerza se empieza a aplastar debido al exceso de presión que se ejerce en ella, conel refuerzo externo

se planteo la hipótesis que resistiría un poco mas ayudando al refuerzo interno y por ende poder recibir una magnitud de carga mas alta.

Figura 24 .figura2.4 Diagrama de momento curvatura para una viga de concreto reforzado con refuerzo de tensión solamente.

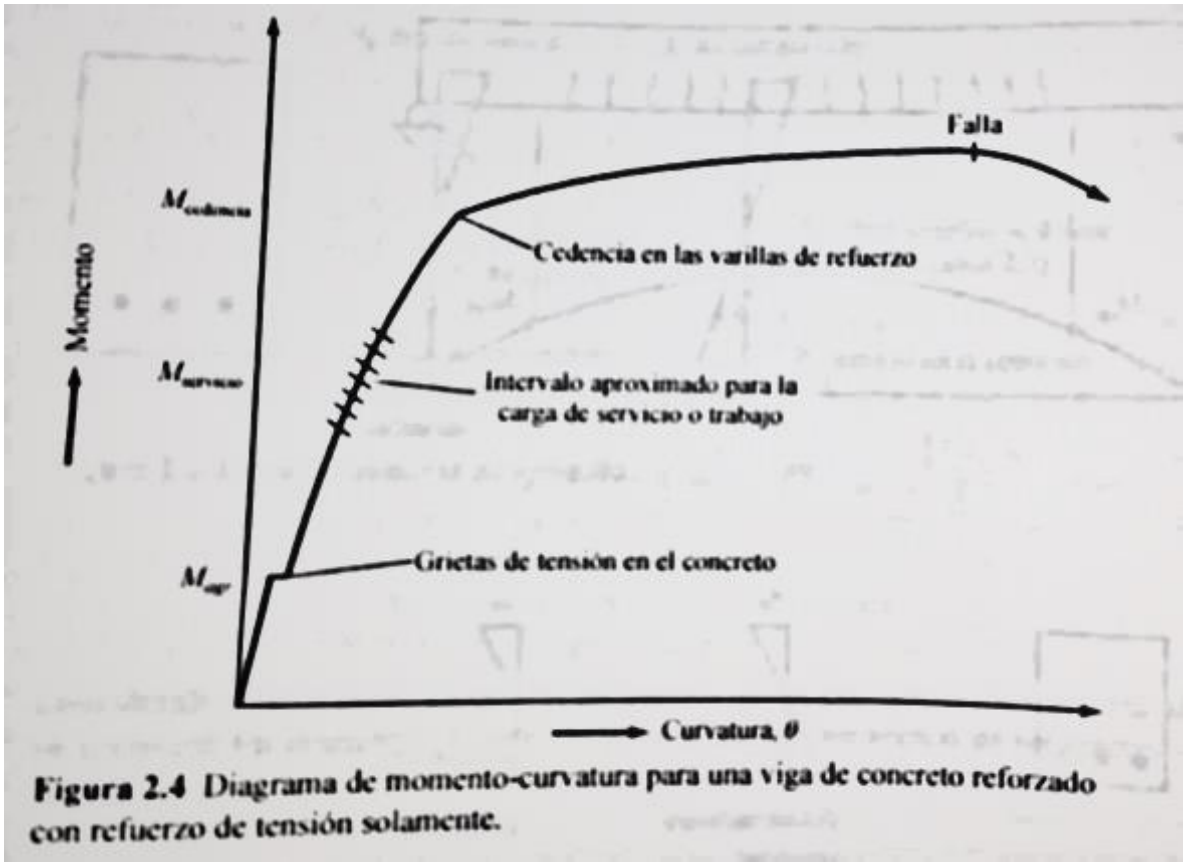


Figura 2.4 Diagrama de momento-curvatura para una viga de concreto reforzado con refuerzo de tensión solamente.

Fuente: Diseño de concreto reforzado-Mccormac,Brown octava edición pag38.

El diagrama describe claramente las etapas que sufre el elemento a ser sometido a una carga a flexión en donde se logra observar como en la primera pendiente está sometida a los esfuerzos menores que el módulo de ruptura y su pendiente es uniforme y tiende a ser una línea recta, ya después de esto vemos que existe un cambio de pendiente cuando estos esfuerzos superan los el límite del concreto y empiezan a aumentar su pendiente reflejando la entrada en acción de los aceros hasta el punto que llega al momento de servicio donde se es más evidente la fluctuación que está sufriendo los aceros, por último se ve un cambio brusco en la gráfica y deja de tener un comportamiento lineal donde llega el acero a su límite

plástico y empieza a ceder hasta que se llega a la falla, con el refuerzo externo está pendiente se retrasa un poco agrandando el margen de carga para la viga soportando una presión mayor.

- Momento de agrietamiento.

Los aceros hacen parte de la sección de la viga sin embargo su sección es muy pequeña comparada a la sección que ocupa el concreto por lo que se puede decir que es casi nulo su aporte hasta que el concreto no sufra fracturas .dicho esto se podría calcular la resistencia del concreto en la viga expuesta a esfuerzos a flexión calculando la inercia de la sección transversal, la distancia al eje neutro del material y el momento de agrietamiento, para efectos de la investigación como es una comprobación mas no el propio diseño, se trabajó con los resultados del laboratorio.

$$= \quad / \quad (3)$$

Para conocer el momento de agrietamiento en la sección 9.5.2.3 del código ACI establece que se puede calcular con el módulo de ruptura del concreto (fr) y (Yt) que corresponde a la distancia entre el eje neutro de la sección hasta la fibra exterior donde se exponga la tensión

$$= 0{,}7\ \lambda \sqrt{f'c} \quad (4)$$

La resistencia del concreto esta expresada en SI y λ tiene como valor “1.0” para concreto de peso normal como es para este caso, ya con estos valores conocidos podemos calcular el momento de agrietamiento con la siguiente ecuación:

$$= \quad / \quad (5)$$

Los datos a utilizar para los cálculos son los siguientes:

B=0,08m

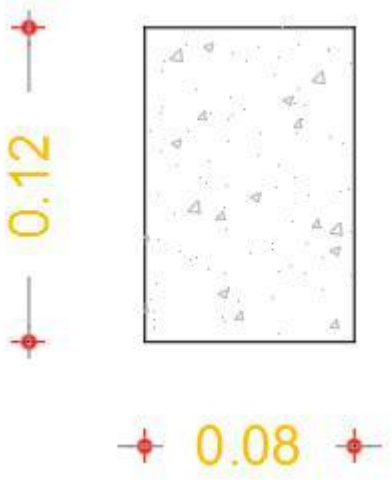
H=0.12m

F’c=21 MPa

Λ=1,0

I=1/12 (B)*(H) ^{3}

Figura 25 .Dimensiones de la sección trasversal de la viga



Fuente: Propia

Tabla 9. Calculo del modulo de ruptura.

Calculo del módulo de ruptura:
Fr= 0,7 λ √f'c Fr=0,7 * 1,0 * √21MPa Fr=3,2MPa

Fuente: Propia .

Tabla 10. Calculo de inercia de la seccion transversal.

Calculo de inercia de la sección transversal
I=1/12 (B)*(H) I=1/12 (0.08m)*(0.12m) ^{3} $I=1{,}15*10^{-5}\ m^4$ Fuente: Propia .

Tabla 11. Calculo del momento de agrietamiento.

Calculo del momento de agrietamiento
Magr=fr Ig/Yt Magr= 3,2 MPa * $1{,}15*10^{-5}\ m^4$ / 0,06m Magr=0,61 KN m
Fuente: Propia .

Calculo de la resistencia requerida a la flexión Mu se iguala con la resistencia de diseño Mr.

B=0,08m

d=0,1075m

=0.0148

F'c=21Mpa

Fy=420Mpa

As= B* d *

=As /B* d

=128 mm^2 / 80mm * 107,5mm

=0,0148

Tabla 12. Comprobar que con la cuantia minima y maxima .

Comprobar que con la cuantia mínima y máxima.
min < diseño < máx. 0,0033 < 0,0148 < 0,0212----------cumple.

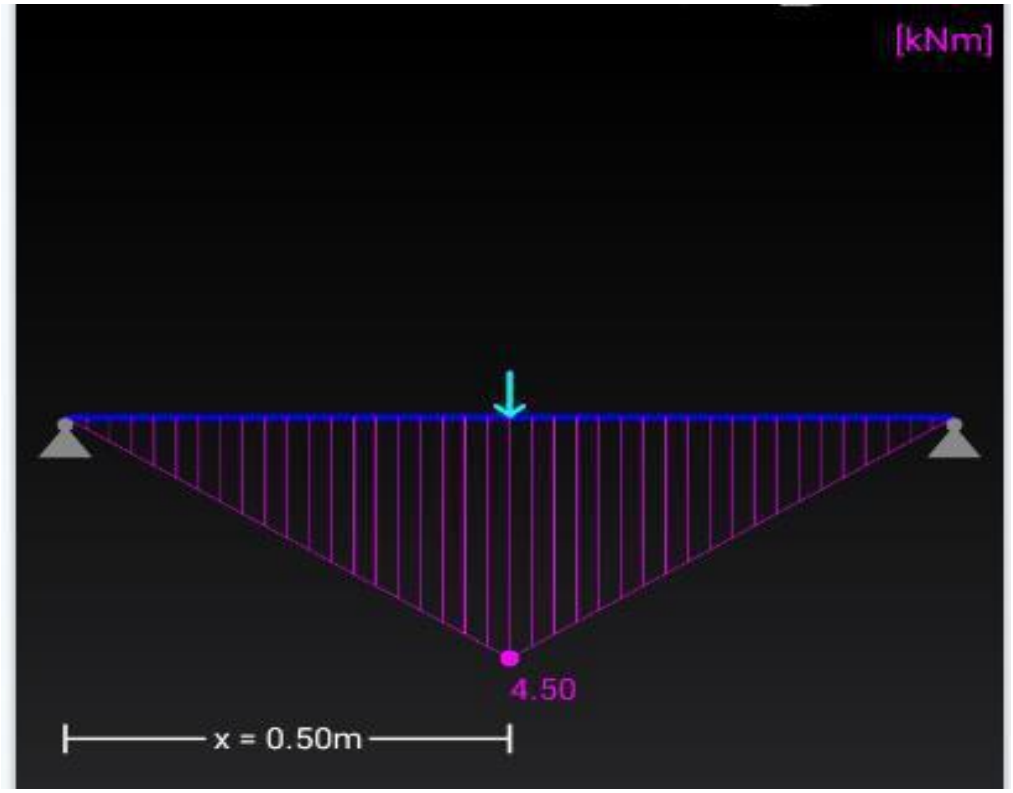
Fuente: Propia .

Tabla 13. Calculo del momento ultimo.

Calcular el momento último.
Mu= Fy * B* d^2 * $(1 - \frac{0.59* \ *}{2})$
Mu= 420Mpa *0,08m * 0,1075 * 0,0148 *(1 – Mu=4,74 KN m $\frac{0.59*420*0.0148}{2}1)$
Fuente: Propia .

Momento practico obtenido en el laboratorio sin el refuerzo externo

Figura 26. diagrama de momento de la viga



Fuente: epicfem.

Mp=2 *0,5

Mp=4

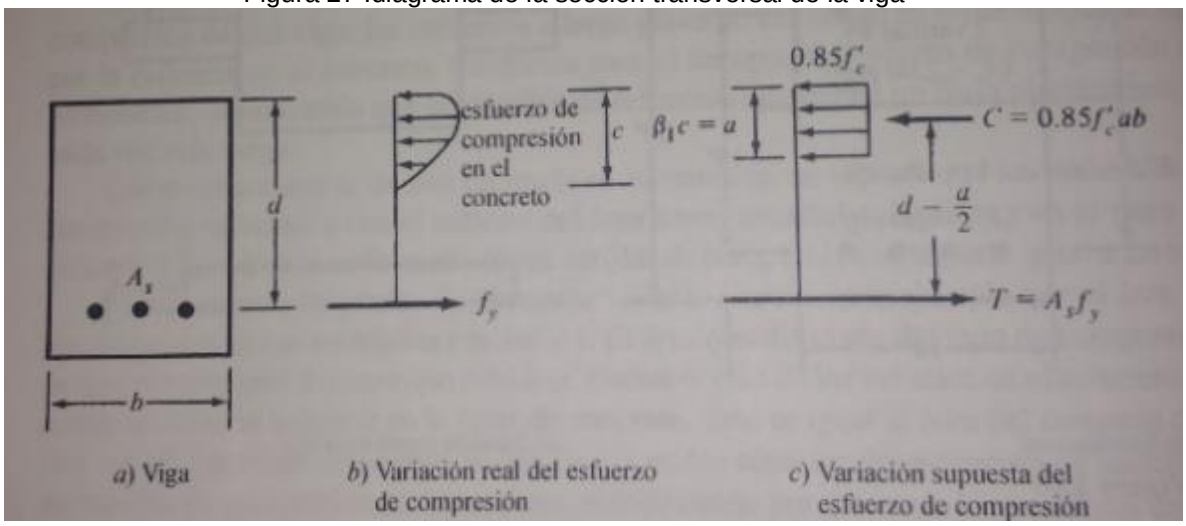
Mp= 4 18

Mp=4,5 KN m

- Momentos últimos o nominales a flexión

Esta es la tercera etapa en el análisis de las vigas a flexión en donde se supone que se ha fisurado más del eje neutro y que el acero entro en la etapa de cedencia por lo que ya ha fallado el concreto al exceder el valor de 0,50f'c y el comportamiento visto en la gráfica ya no es lineal, para los cálculos se considera el diagrama de compresión con un esfuerzo cortante de 0,85f'c, las pruebas experimentales aprueban estas teorías para calcular las resistencias a flexión.

Figura 27 .diagrama de la seccion transversal de la viga



Fuente: diseño de concreto reforzado-Mccormac,Brown octava edición pag46.

Para el cálculo de la resistencia por el momento ultimo teórico o nominal se tomaron los siguientes valores:

B=0,08m

H=0,12m

F'c=21 MPa

Fy=420 MPa (para refuerzo interno)

Fy=253 MPa (para refuerzo externo)

As=128 mm^2

As platina=161 mm^2

d= 0,1075 m

Tabla 14. Calculos teoricos para vigas sin refuerzo externo

Cálculos teóricos **Para viga sin refuerzo externo.**
Calculo de fuerzas T y C de tensión y compresión
T=As*Fy $T=1,2810^{-4}\ m^2 * 420\ Mpa$ T=0,054 MN C=0,85 * F'c * a * B C=0,85 * 21MPa * a* 0.08m C=1,428 a
Igualando T y C, despejando a
0,054MN = 1,428a a= 0,038 m
El cálculo de d - 2 $\frac{a}{}$ y Mn es

Fuente: Propia .

$d - \frac{a}{2} = 0{,}1075m - \frac{0{,}038m}{2} = 0{,}089m$ Mn=(0,054MN)*(0,089m) Mn= 4,81 KN m

Tabla 15. Calculo para viga con refuerzo externo.

Calculo para viga con refuerzo externo.
Calculo de fuerzas T y C de tensión y compresión
T=As*Fy + As*Fy(platina) $T=1{,}2810^{-4}\ m^2$ * 420 Mpa + $1{,}61\ 10^{-4}\ m^2$ * 253 Mpa T=0,095 MN C=0,85 * F'c * a * B C=0,85 * 21MPa * a* 0.08m C=1,428 a Igualando T y C, despejando a
0,095MN = 1,428 a a= 0,067 m

El cálculo de d - $\frac{a}{2}$ y Mn es

$$d - \frac{a}{2} = 0{,}1075m - \frac{0{,}067m}{2} = 0{,}074m$$

Mn=(0,095MN) *(0,074m)

Mn= 7,03 KN m

Tabla 16. Resumen de cargas y momentos de las vigas.

TABLA RESUMEN			
	Carga Max prom. (KN)	Mu. Teórico (KN m)	Mu. Practico (KN m)
Viga sin R.E.	18,75	4,79	4,5
Viga con R.E.	20,79	7,03	5

Fuente: Propia .

Tabla 17. Cargas de falla para las vigas.

VIGAS DE ENSAYO		
No Viga	Tipo	carga (KN)
V01	sin R.E.	18,59
V02	sin R.E.	18,91
V03	Con R.E. adherido	20,6
V04	Con R.E. adherido	19,05
V05	Con R.E. pernado	21,72
V06	Con R.E. pernado	21,79

Fuente: Propia .

- **Porcentaje de aumento de carga.**

Según el promedio de las cargas y los cálculos ya presentados se evidencio el aumento de resistencia de la viga con el refuerzo externo en un **11%.**

7 . ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizaron las vigas en concreto reforzado y se llevó a cabo el proceso de curado del material y la espera de los 28 días para que alcanzara su resistencia máxima, posteriormente fueron colocados los refuerzos externos adheridos y pernados, objeto de la investigación en la cual después de esperar 24 horas del proceso de secado del Epóxico se procedió a fallar las vigas en un ensayo de flexión con condiciones en los extremos como simplemente apoyada y una carga puntual en el centro de la luz de la viga para comparar las resistencias y analizar el comportamiento con cada una de las vigas:

- Las vigas al ser expuestas a la carga puntual soportaron la presión hasta que el concreto fallara y los aceros longitudinales empezaran a trabajar.

- Después de una magnitud de carga que supero el módulo de ruptura del material, este se empezó a fisurar paulatinamente y se incrementaba a medida que la carga iba en aumento.

- Las fisuras empezaron a superar el eje neutro de la sección del elemento llevando a fallar la viga.

- La viga falló en su totalidad cuando las fisuras empezaron a tomar espesores entre 4 a 6mm.

- Con la adhesión de las platinas, se evidencio una resistencia mayor a la fuerza ejercida por la maquina universal.

- Las fisuras en las vigas que tenían el refuerzo externo adherido y pernado empezaron a aparecer más tardía que en la viga sin el refuerzo externo.

- Los pernos ayudaron a una mejor adhesión con el Epóxico y se logró la mayor carga resistida con estos dos elementos.

8 . CONCLUSIONES

Se identifico el comportamiento mecánico de las vigas sin refuerzo externo y aquellas que mediante el uso del refuerzo externo en lamina de acero se comportaron diferente al accionar de las cargas, su capacidad de soporte fue 1,8 toneladas, mientras que para aquellas vigas con refuerzo externo soportaron 2,1 toneladas, obteniendo un incremento resistencia a flexión.

Se comparo la implementación del refuerzo externo el cual permite plantear el aumento en la capacidad de soporte de carga a flexión en vigas con refuerzo externo , evidenciando además una lapso de seguridad en el punto de falla en donde la viga sin refuerzo se fragmento totalmente mientras que la viga con refuerzo resistía un poco mas la carga garantizando la mayoración de carga que pueda recibir el elemento estructural.

Se determino los porcentajes de incremento de carga entre vigas sin refuero adherido y aquellas que lo tiene, se evalua en condiciones de aumento de carga , el cual para la viga reforzada soporto un 11 % de mas, en contraste con aquellas vigas que no lo tienen.

9 . RECOMENDACIONES

- La realización de las pruebas de flexión a las vigas se recomienda un continuo control del diseño de mezcla y construcción de la armadura de aceros de refuerzo, los resultados de la realización de los ensayos de resistencia nominal del concreto con el fin de garantizar una función optima de este y la armadura en acero de refuerzo, sin que ninguno de estos funcione solo y se vea comprometida la resistencia de la viga.

- El ajuste en la tecnica de escala en el diseño estructural es fundamental por tanto antes de realizar el diseño de una viga a escala es necesario realizar los análisis pertinentes a la construcción de los modelos escaldos, la disponibilidad de las maquinas que permita simular los esfuerzos máximos de carga a flexión para el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

- La disponibilidad de materiales de fabricación garantizados, respaldan el buen desarrollo de los diseños y cálculos, como lo son el diseño de mezclas y conjetura de aceros para la armadura, en función de la construcción e inspección de los modelos y su optimo comportamiento en los estados de falla y recopilación de información en función de la investigación.

- Con el fin de una recopilación de información mayor para corroborar los datos obtenidos de la falla de los modelos escalados de las vigas, en función de su refuerzo externo adherido, es necesario la realización de un mayor número de muestras con el fin de ratificar el actual funcionamiento del refuerzo adherido en lamina de acero.

10 . REFERENCIAS

- CIFUENTES CUFIENTES, Gustavo. Refuerzo de elementos estructurales mediante bandas de acero adheridas con recinas epoxicas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1999. 450 p.

- DOMINGUEZ, Carlos cesar: desarrollo de algoritmos para el análisis y diseño de elementos de concreto reforzado con base en la NSR-10. Medellín ,2013 ,166h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingenieria. {Disponible en línea } <http://evirtual.lasalle.edu.co/ >. 99 p.

- FERRER, Juan José. Vigas Pre- esforzadas con Refuerzo externo: En Ingeniería e Investigación, diciembre de 1998. Nº. 41, 290 p. ISSN 0129-5608.

- GOLDSTON, M. and REMENNIKOV, A. Experimental investigation of the behaviour of concrete beams reinforced with GFRP bars under static and impact loading: En Engineering Structures, 15 de Abril 2016, volumen 113, 400 p
  .
- HERNÁNDEZ Roberto, FERNÁNDEZ Carlos and BAPTISTA Pilar, Metodología de la Investigación, 4ta Edición, México D.F, 2006, 1998,1991, 320 p.

- KERPEL K Enrique. Introducción al Análisis Plástico de estructuras de Concreto Reforzado. Colombia: Universidad Nacional De Colombia., Universidad Nacional De Colombia, 1981, 300 p.

- LUO, Jun Wey y VECCHIO, frank j.Behavior of steel fiber-reinforced concrete under reversed cyclic shear: En. ACI Structural Journal, Febrero de 2016, Tomo 113, 300 p . ISSN 08893241.

- MC CORMAC, Jack, BROWN, Russell. Diseño de Concreto Reforzado. Octava edición. Editorial Alfa omega .2011 México D.F. 713 p.

- MOLINA HUELVA, Martha Comportamiento de estructuras de hormigón armado con una deficiente transferencia de tensiones hormigón-acero. análisis experimental y propuesta de un modelo de evaluación estructural. Madrid ,2005 ,250h. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid,

Departamento de estructuras de Edificación. {Disponible en línea} < http://oa.upm.es/ > 99 p.

- NILSON, Artur H. Diseño de estructuras en concreto. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A., Copyright O 1999, 62 p.

- Norma ICONTEC para el Hormigon.

- PARRO. DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION { en línea } { citado el 27 de Septiembre de 2016}. {Disponible en línea} < http://www.parro.com.ar/definicion-de-LAMINA+DE+ACERO_>

- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR10- Titulo C 590 p.

- T.Y.LIN. Diseño y construcción de concreto preesforzado: CONTINENTAL, S.A. de México, Mayo de 1982, 350 p.