ADAPTACION DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN EL LABORATORIO DE CONCRETOS DEL POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID

SEBASTIAN BERNAL ECHEVERRI
JOSE EMANUEL GUZMAN

POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA CIVIL
MEDELLÍN
2009

ADAPTACION DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN EL LABORATORIO DE CONCRETOS DEL POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID

SEBASTIAN BERNAL ECHEVERRI
JOSE EMANUEL GUZMAN

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Asesor Temático
JUAN CARLOS CARDONA
Ingeniero Civil

Asesor Metodológico
JUAN FELIPE OCHOA
Ingeniero Civil

POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA CIVIL
MEDELLÍN
2009

Le damos gracias a Dios que nos permitió culminar nuestros estudios de forma satisfactoria y compartir esta alegría con las personas que de diferentes maneras nos apoyaron en este camino, especialmente a nuestros padres y familiares, les damos mil gracias por todo su apoyo, amor y preocupación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Civil estructural Juan Carlos Cardona y al Ingeniero Civil Juan Felipe Ochoa, asesores de la tesis, que nos brindaron sus conocimientos profesionales para culminar nuestro proceso dentro de la institución; y destacamos su gran colaboración y disponibilidad durante este arduo trabajo, el cual no hubiese sido posible realizar sin su acompañamiento y apoyo incondicional

CONTENIDO

INTRODUCCION 22
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA 23
1. JUSTIFICACIÓN 25
3. OBJETIVOS 27
3.1. OBJETIVO GENERAL 27
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 27
4. METODOLOGIA 28
4.1. TIPO DE ESTUDIO 28
4.2. ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR LOS OBJETIVOS 28
4.3. FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 30
4.3.1. Fuentes primarias. 30
4.3.2. Fuentes secundarias. 30
5. MARCO TEORICO 32
5.1. CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN 32
5.1.1. Consistencia del hormigón 32
5.1.2. Cohesión de la mezcla 33
5.1.3. Factores que afectan la trabajabilidad 33
5.1.4. Hormigón compactado 33
5.1.5. Hormigón de resistencia uniforme 34
5.1.6. Hormigón endurecido 35
5.1.7. Durabilidad del hormigón 36
5.1.8. Impermeabilidad 36
5.1.9. Constancia de largo 37
5.2. DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGON REFORZADO 37
5.2.1. Ventajas del Diseño Plástico 38
5.2.2. Análisis de las Hipótesis: 40

5.2.3. Método de Charles S. Whitney 41
5.3. INSTRUMENTACION Y AUTOMATIZACION DEL EQUIPO DE TRACCION INDIRECTA.....42
5.3.1. Construcción de un adquisidor y el uso de sensores.....42
5.3.2. La mordaza de tracción.....42
5.4. RESISTENCIA A FLEXION 44
6. FUENTES TEORICAS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTAEN CILINDROS NORMALES DE HORMIGON Y MODULODE ROTURA EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS.....47
6.1. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A TRACCION POR FLEXION DEL HORMIGÓN, EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO 47
6.1.1. Maquina De Ensayo.....47
6.1.2. Probeta 48
6.1.3. Procedimiento 48
6.1.4 Informe.....50
6.1.5 Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión 51
6.1.6. Condiciones optimas para realizar ensayo 54
6.2. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL HORMIGON A TRACCIÓN INDIRECTA USANDO PROBETAS CILINDRICAS ...57
6.2.1. Aparatos.....57
6.2.2 Método para la elaboración, curado y ensayo de probetas cilíndricas de hormigón.....58
6.3. MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN ESTÁNDAR PARA CILINDROS NORMALES DE HORMIGON.....62
6.3.1 Aparatos.....62
7. DISEÑO ADAPTACION Y ELABORACION DE ELEMENTOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS ENSAYOS 65

7.1. EQUIPO AL CUAL SE ADAPTARA PARA LAS PRACTICAS 65
7.1.1. Ensayo modulo de rotura 69
7.1.2. Ensayo de tracción indirecta en cilindros de hormigón 71
8. ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, MODULO DE ROTURA Y FORMATOS GUIAS.....74
8.1 DOSIFICACIONES DE LAS MEZCLAS Y CRONOGRAMA PARA LA REALIZACIÓN DE FALLA DE LAS PROBETAS 74
8.1.1. Dosificaciones.....74
8.1.2. Cronograma 74
8.2. PROCEDIMIENTOS O PAUTAS A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....76
8.2.1. Elementos usados para la ejecución de la práctica. 76
8.2.2. Diseño de mezclas.....76
8.2.3. Preparación de las probetas o elementos a fallar. 76
8.2.4. Pasos previos a la fallar. 79
8.2.5 montajes y proceso de falla de los ensayos de tracción indirecta y resistencia a la compresión.....80
8.2.6.Cálculos y resultados de los ensayos de tracción indirecta y resistencia a la flexión 81
8.2.7. Curvas obtenidas como resultados de los ensayos de tracción indirecta vs resistencia a la flexión.....86
8.3 PROCEDIMIENTOS O PAUTAS A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....87
8.3.1Elementos usados para la ejecución de la practica 87
8.3.2Diseño de mezclas.....87
8.3.3. Preparación de las viguetas a fallar 87

8.3.4 pasos previos para fallar 90
8.3.5 Montajes y proceso de falla del ensayo de modulo de rotura 91
8.3.6. Cálculos y resultados del ensayo de modulo de rotura 92
8.3.7. Curvas obtenidas como resultados de los ensayos de modulo de rotura vs resistencia a la flexión 97
8.4. PROCEDIMIENTO, GUIA GRAFICA Y FORMATOS PARA LA ELABORACION DE LOS ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA Y MODULO DE ROTURA 98
8.4.1 Ensayo a tracción indirecta y resistencia a la compresión 98
8.4.2. Ensayo de modulo de rotura 101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Método de Charles S. Whitney 41
Figura 2. Strain Gauge.....42
Figura 3. Mordaza de tracción 43
Figura 4. Mordaza de tracción 43
Figura 5. Diagrama de Momentos clase 1 y 2 44
Figura 6. Diagrama de Momentos clase 3 45
Figura 7. Diagrama de Momentos clase 4 45
Figura 8. Maquina ELE ADR 1000.....65
Figura 9. Diseños de elementos para modulo de rotura. 69
Figura 10. Elementos para ensayo de modulo de rotura. 70
Figura 11. Diseño de elementos para ensayo de tracción indirecta.....71
Figura 12. Elemento para ensayo de tracción indirecta. 73
Figura 13. Cronograma de elementos a fallar.....75
Figura 14. Formaletas para cilindros de hormigón.....77
Figura 15. Fraguado de Cilindros.....77
Figura 16. Desencofre 78
Figura 17. Curado y almacenamiento de los cilindros 78
Figura 18. Lavado y marcado de cilindros 79
Figura 19. registro de propiedades físicas y geométricas de los cilindros 79
Figura 20. Montaje del ensayo de tracción indirecta.....80
Figura 21. cilindro fallado.....80
Figura 22. Curva de correlacion entre f`c traccion vs f`c comp.....86
Figura 23. Formaletas para vigas de hormigón 88
Figura 24. fraguado de vigas 88
Figura 25. desencofre 89
Figura 26. Curado y almacenamiento de las vigas 89
Figura 27. Lavado y marcado de vigas.....90

Figura 28. Registro de propiedades físicas y geométricas de las vigas.....90
Figura 29. Montaje del ensayo de modulo de rotura.....91
Figura 30. Viga fallada.....91
Figura 31. Curva de correlación entre Mr vs f`c comp 97
Figura 32. Guía grafica de la resistencia a la tracción 99
Figura 33. Guía grafica del modulo de rotura 102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ensayo # 1 Tracción indirecta y compresión.....81
Tabla 2. Ensayo # 2 Tracción indirecta y compresión.....82
Tabla 3. Ensayo # 3 Tracción indirecta y compresión.....83
Tabla 4. Ensayo # 4 Tracción indirecta y compresión.....84
Tabla 5. Ensayo # 5 Tracción indirecta y compresión.....85
Tabla 6. Resumen de resultados para grafico de correlacion del f`c trac 86
Tabla 7. Ensayo # 1 Modulo de rotura. 92
Tabla 8. Ensayo # 2 Modulo de rotura. 93
Tabla 9. Ensayo # 3 Modulo de rotura. 94
Tabla 10. Ensayo # 4 Modulo de rotura 95
Tabla 11. Ensayo # 5 Modulo de rotura. 96
Tabla 12. Resumen de resultados para grafico de correlación del Mr 97
Tabla 13. Formato para la recolección de datos de la resistencia a la traccion...100
Tabla 14. Formato para la recolección de datos de la resistencia al modulo de rotura 103

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tablas de platinas comerciales 107
Anexo B. Especificaciones de las barras lisas 108
Anexo C. Tipos de perfiles y dimensiones comerciales 109
Anexo D. Tipos y dimensiones comerciales de laminas roladas.....110

GLOSARIO

Acelerante: Sustancia que cuando se agrega al hormigón, mortero o lechada, incrementa la velocidad de hidratación del cemento hidráulico, acorta su tiempo de fraguado, o incrementa la velocidad para desarrollar la resistencia, o ambas.

Aditivo: Material diferente al agua, agregado o cemento hidráulico usado como un ingrediente del hormigón o mortero que se agrega antes o durante el mezclado, para mejorar algunas de las principales propiedades del hormigón.

Agregados: Material tal como arena, grava, piedra triturada, escoria de alto horno que usados como un medio cementante forman un cemento hidráulico, hormigón o mortero.

Agregado grueso: Son los agregados (gravas) que son predominantemente retenidos por la malla Nº 4 (U.S. Estándar)

Agregado fino: Son los agregados que pasan la malla de 3/8 de pulgada (9.52 mm) y casi totalmente la malla Nº 4 y son predominantemente retenidos en el tamiz Nº 200.

Ampollamiento: El ascenso a la superficie en forma irregular de una capa delgada del mortero o hormigón durante o después de haberse completado la operación de acabado.

Barras o varillas de trabazón: Son pines (varillas) de hierro, comúnmente barras redondas lisas, que se extienden en porciones adyacentes de una construcción de hormigón que como en el caso de las juntas de dilatación de las losas de un

pavimento conectan las porciones y transmiten los esfuerzos cortantes.

Capilaridad: Propiedad del hormigón de absorber agua a través de "poros" o pequeñas fisuras superficiales.

Cemento: Material que tiene propiedades cementantes cuando se utiliza en la fabricación de hormigón, ya sea por sí mismo, como es el caso del cemento hidráulico (Portland), el cemento adicionado, y el cemento expansivo ; o cuando estos últimos obran en combinación con cenizas volantes, puzolanas, escoria siderúrgica y humo de sílice.

Cemento hidráulico: Es un cemento que fragua y se endurece por interacción química con el agua y es apto para se colocado bajo la misma

Cemento Pórtland: Es un cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker proveniente de la calcinación de un hidrosilicato de calcio y que usualmente contiene una o más formas de sulfato de calcio como integrante.

Calor de hidratación o de fraguado: Es el calor generado por la reacción química del cemento Portland con el agua durante el proceso de colocación y endurecimiento.

Componentes para curado: Son líquidos que pueden ser aplicados al hormigón fresco para formar una película superficial que retarde la pérdida de humedad o, en el caso de compuestos pimentados, reflejar el calor y garantizar la posibilidad de que el hormigón desarrolle sus características o propiedades en un medio favorable de temperatura y humedad.

Compuestos monomoleculares: Compuesto de una sola molécula. Específicamente es la película con un espesor igual al diámetro de una molécula. (Ejemplo: ciertos compuestos químicos desarrollan una "película monomolecular" sobre el agua exudada en la superficie de un hormigón o mortero recién colocado reduciendo su velocidad de evaporación.

Curado: Es el mantenimiento durante un período definido de tiempo de la humedad y de la temperatura en el hormigón recién colocado o terminado para asegurar una adecuada hidratación del material cementante y el endurecimiento del hormigón.

Desencofrado: Sacar la muestra de hormigón o mortero a los 3, 7 o 28 días para realizar ensayos de resistencia.

Encofrado y formaletas: Moldes con la forma y las dimensiones de los elementos estructurales en los cuales se coloca el refuerzo y se vierte el hormigón fresco.

Exudación: El flujo de agua de la mezcla, o su emergencia en un hormigón o mortero recién colocado y que es originada por el asentamiento de los materiales sólidos en la masa, También es llamada ganancia de agua.

Fluidez: Propiedad del hormigón cuando está en estado plástico de fluir como un líquido espeso.

Fraguado: Proceso por el cuál la pasta cemento - agua pierde las propiedades plásticas.

Hormigón: Es una mezcla de materiales (gravas, arena) embebidos en un medio aglutinante. En el hormigón Portland el medio aglutinante es una mezcla de cemento Portland y agua.

Hormigón ciclópeo: Mezcla de hormigón simple y agregado grueso seleccionado con tamaños entre 150 y 300 mm, utilizada para construcción de elementos estructurales que trabajan predominantemente a compresión y que se diseñan de acuerdo con los requisitos de capítulo C.22 de las NSR-98.

Hormigón de peso normal: Se entiende por hormigón de peso normal ,aquel en el cual se han utilizados agregados inertes cuya masa específica es mayor que 1840 kg./m^3.

Hormigón de recubrimiento: Es el hormigón localizado por fuera del refuerzo transversal de confinamiento.

Hormigón estructural: El hormigón estructural cubre el hormigón simple y el hormigón reforzado utilizado para propósitos estructurales.

Hormigón ligero: hormigón que contiene agregado ligero, cuya masa específica no excede 1840 kg/m^3, y por lo tanto el hormigón producido con ellos tiene una masa específica inferior al del hormigón de masa normal. este tipo de hormigón no puede utilizarse sin una aprobación especial de la "comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes", debido a sus propiedades de baja resistencia a los esfuerzos cortantes.

Hormigón postensionado: son los método para inducir esfuerzo de tensión en un hormigón reforzado, previos a los inducidos por las cargas de servicio. se utilizan

cables de tensionamiento que son atesados después de que el hormigón se ha endurecido.

Hormigón pre-esforzado: hormigón que previamente a su utilización se somete a tratamientos mecánicos destinados a crear esfuerzos de compresión en las zonas que posteriormente reciben esfuerzos de tracción debidos a la aplicación de las cargas. según el procedimiento de aplicación de los esfuerzos en el acero de tensionamiento con respecto al vaciado del hormigón se divide en hormigón pretensado y hormigón postensado.

Hormigón pre-tensionado: es el hormigón en el que esfuerzos internos son introducidos en tal magnitud y distribución para que resulten contrabalanceados por las cargas de servicio. en el hormigón reforzado los esfuerzos se introducen tensionando cables de esfuerzo.

Hormigón reforzado: material constituido por hormigón que tiene un refuerzo consistente en barras de acero corrugado, estribos transversales o mallas electrosoldadas, colocadas principalmente en las zonas de tracción en cuantías superiores a las mínimas especificadas en los capítulos c.1 a c.21 de las nsr-98, bajo la hipótesis de compatibilidad de deformaciones entre los dos materiales.es el hormigón que contiene adecuado hierro de refuerzo (pretensionado o no) y que está diseñado para que los dos materiales (hierro y hormigón) actúen conjuntamente resistiendo las cargas o esfuerzos de servicio.

Hormigon simple: el que no tiene acero de refuerzo, o lo tiene en cuantías menores a las mínimas especificadas en los capítulos c.1 a c.21. su diseño está regido por los requisitos del capítulo c.22 de las nsr-98.

Hormigón: Termino castellano del anglicanismo (hormigón). También se entiende por hormigón el hormigón armado o reforzado.

Juntas de aislamiento: Son separaciones generalmente en el plano vertical, entre partes adyacentes de una estructura de hormigón, adecuadamente ubicadas para interferir lo menos posible el comportamiento de la estructura, en forma de permitir un relativo movimiento de la misma y que inhiben la formación de grietas y donde es interrumpida en todo o en parte la continuidad del refuerzo metálico.

Juntas de contracción: Son las hendiduras formadas con listones, cortadas a máquina o realizadas con herramientas especiales para crear un plano débil o de menor resistencia que regule y localice las grietas resultantes de los cambios dimensionales de las diferentes partes de una estructura.

Juntas de expansión: Separación entre porciones adyacentes de la estructura de hormigón, localizada en un lugar establecido durante el diseño de la estructura, de tal manera que no interfiera con el comportamiento de la estructura y que al mismo tiempo permita el movimiento en las direcciones apropiadas ; y que impida la formación de fisuras y grietas en otras partes de la estructura. En la junta se puede interrumpir parte o todo el refuerzo adherido que la atraviese.

Losas: Plancha horizontal o inclinada, moldeada en capas de hormigón simple o reforzado, usualmente de espesor uniforme o en ocasiones variable, colocada sobre el suelo o soportada por vigas, columnas, paredes u otros estructuras.

Mortero: Es una mezcla de pasta de cemento y un agregado fino. En el hormigón fresco, es el material que ocupa los espacios vacíos entre las partículas del agregado grueso. En mampostería el mortero puede contener cemento hidráulico

con cal (y posiblemente otros aditivos) para obtener mayor plasticidad y trabajabilidad que la que se obtiene con el mortero común de cemento hidráulico. Mezclas de arena, cemento y agua para realizar labores como la de repello.

Peso del hormigón: el hormigón cuando es producido con agregados de peso normal pesa aproximadamente 2.400 kg/m^3 (150 lbs/ pie cúbico).

Peso del hormigón estructural: el hormigón estructural, producido con agregados ligeros, tiene un peso unitario entre 1.400 y 1.850 kgs/m^3 (90 a 115 lbs por pie cubico).

Puzolanas: Material silicoso y aluminoso que añadido al hormigón y a temperatura media ordinaria y en medio húmedo reacciona químicamente desarrollando propiedades cementantes.

Refuerzos: Barras, alambres, cordones, u otros materiales delgados que son embebidos en el hormigón de tal forma que actúan conjuntamente con el hormigón para resistir las cargas o esfuerzos de tensión o compresión.

Reología: Parte de la física que se ocupa de las deformaciones de los materiales comprendidos entre los puramente elásticos y los puramente fluidos. Las deformaciones pueden ser permanentes o plásticas, y pueden deberse a variaciones de la presión, la temperatura o de otros factores.

Slump (prueba de asentamiento): Es una medida de la consistencia de un hormigón fresco, tomada como el asentamiento en valores más cercanos ¼ de pulgada (6 mm) de la muestra inmediatamente después de haber retirado el cono de ensayo.

RESUMEN

Los ensayos a implementar surgen de la necesidad de los estudiantes y de la institución el hacer mas practico y lo aprendido en la parte teórica, por lo tanto lo que se hizo fue adaptar la maquina existente en el laboratorio la cual es utilizada para realizar los ensayos de resistencia a compresión, para ser usada para los ensayos de tracción indirecta en cilindros normales de hormigón y para hallar el modulo de rotura en vigas simplemente apoyadas

Con el fin de poder realizar dichos ensayos se diseñaron y se hicieron unos apoyos para adaptarle a la maquina ELE ADR1000 para cada ensayo

Después se realizo una serie de ensayos con 5 diferentes muestras para verificar su funcionalidad y veracidad de los resultados obtenidos ,teniendo en cuenta que la cantidad de muestras no son lo optimo para realizar gráficos de correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción y modulo de rotura los cuales arrojaron una ecuación precisa de la curva real se puede observar que tanto curvas realizadas en otros ensayos similares como las curvas obtenidas tiene unos patrones muy similares y en chequeos planteados por diferentes autores por ejemplo, en la resistencia a la tracción **1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c** y en la resistencia del modulo de rotura **12%F`c < Mr< 24%F`c** ; los resultados están dentro de estos rangos y por lo tanto se puede concluir que los ensayos se implentaron de manera satisfactoria.

ABSTRACT

the tests to implement arise from the necessity of the students and the institution doing but I practice and the learned thing in the theoretical part, therefore what it became it was to adapt the existing machine in the laboratory which is used to realize the tests of resistance to compression, to be used for the indirect tension tests in concrete cylinders normal and to find the unit of breakage in beams simply supported.

with the purpose of to be able to realize these tests they were designed and supports were made to adapt to him to machine ELE ADR1000 for each of these tests.

later I am realized a series of tests with 5 different samples to verify its functionality and veracity of the obtained results, considering that the amount of samples is not the optimum thing to realize graphical of correlation enters the compressive strenght and the tensile strenght and unit of breakage which throw to us a very exact equation of the real curve can be observed that as much curved realized in other similar tests as the obtained curves have very similar landlords and in controls raised by different authors such as, in the tensile strenght 1,60√F `c < f `c trac< 1,86 √F `c and in the resistance of the breakage unit 12%F `c < Mr< 24%F `c; the results gave within these ranks and therefore we can conclude that the tests were implentaron of satisfactory way.

INTRODUCCION

Los ensayos de resistencia a la tracción indirecta en cilindros de hormigón y el modulo de rotura en vigas de hormigón simplemente apoyadas, son de gran importancia en el área de la construcción y el diseño por lo cual se ve la necesidad de que los conceptos obtenidos en las aulas de clase se hagan más prácticos y conocidos para los estudiantes del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

La resistencia del hormigón es, generalmente, el índice principal para determinar la calidad del mismo. Cuando se usa el hormigón como material estructural se necesita asegurar que este satisface los requisitos mínimos del diseño; es nuestro deber hacer las pruebas de resistencia del hormigón a las mezclas utilizadas. Con estas pruebas se puede corroborar los resultados del diseño de la mezcla y además establecer la relación entre las resistencias a tracción y el modulo de rotura con respecto la resistencia a compresión.

El trabajo desarrollado consiste en la implementación y adecuación de los elementos existentes en el laboratorio de concretos de la institución; por medio de documentación y asesorías de profesionales en el tema, se logra definir unos parámetros de diseño de los elementos faltantes para la realización de los dos nuevos ensayos de hormigón, de igual forma se plantean unos procedimientos a seguir ,unos formatos básicos y un análisis grafico de los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid debido a su necesidad de ser acreditado como universidad, se ve afectado en cuanto a la adaptación de laboratorios prácticos de varias ramas de la ingeniería; este estudio se realiza enfocado a la ampliación del laboratorio de concretos, en donde los métodos de estudio que se realizan diariamente son muy limitados.

La causa de no tener estos ensayos es por falta de ingresos y apoyo de entes públicos a la institución y también se debe a la falta de interés de parte de los estudiantes de la facultad de ingeniería los cuales deberían ser los más interesados en que se implementen estos dos ensayos (tracción indirecta y módulo de rotura de cilindros y vigas de hormigón), ya que estos pueden ser muy útiles en su vida profesional facilitando la toma de decisiones; una de las muchas consecuencias que esto puede acarrear es la falta de conocimiento con respecto a estos ensayos los cuales son importantes para una buena formación profesional. En caso de que sigan faltando estos ensayos continuarán graduándose ingenieros y tecnólogos civiles con falencias en lo que respecta con el conocimiento de los ensayos requeridos en la vida profesional.

Los métodos a profundizar son la implementación de las prácticas de tracción indirecta y resistencia a la flexión, y el mejoramiento de estos laboratorios, para la ampliación de nuevos conocimientos y nuevas técnicas de usos en cuanto a lo laboral

El hormigón como elemento fundamental de trabajo requiere de un conocimiento más profundo y de estudios más intensificados puesto que de esto depende el

“bien hacer”, es mediante él que se construye y se teje la vida profesional teniendo en cuenta que cada construcción reflejan el saber adquirido.

2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de los ensayos de laboratorios de tracción indirecta y módulo de rotura en cilindros y vigas de hormigón es un complemento para poner en práctica la formación teórica obtenida tanto por el estudiante como por el docente de materias afines al hormigón, generándose de esta forma la oportunidad de hacer prácticos los conocimientos obtenidos durante las clases.

La contribución de nuevos conocimientos y su aplicación se limitan básicamente a los aspectos conceptuales, es decir, a la interpretación y el análisis, teniendo en cuenta los conceptos adquiridos en el área de hormigón tales como la de tracción indirecta de cilindros normales de hormigón y resistencia a la flexión, la cual se fundamenta en la evaluación y condición de los diseños de mezcla y sus diferentes resistencias. De esta forma los ensayos de laboratorio pertenecientes al estudio en curso, serán viables cuando las mezclas de hormigon cumplan con los asentamientos y dosificaciones establecidos según las normas ASTM C78 Y ASTM C293.

La comunidad politécnica y en especial los estudiantes de Ingeniería Civil deben ser formados con las mejores bases y fundamentos para ofrecer a las empresas soluciones adecuadas a los diferentes proyectos.

La actual administración del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid está implementando un programa denominado “MODERNIZACION DE LABORATORIOS”, el cual busca mejorar los procesos de extensión, investigación y docencia. Es por esta razón que se hace de gran importancia la consecución de dos nuevas prácticas, apoyando de esta forma el avance de lograr un verdadero mejoramiento de los laboratorios de concretos. Generar dos prácticas nuevas en

esta área no solo beneficiaría a la academia de la Ingeniería Civil, sino que de igual modo estaría dando un aporte importante a los esfuerzos actuales por alcanzar la certificación como universidad.

El ingeniero civil está constantemente en contacto con el hormigon, ya que éste hace parte del desarrollo diario de las diferentes obras. De esta forma es que se torna de gran importancia saber los diferentes comportamientos y reacciones del hormigon en los diferentes sometimientos de cargas y especificaciones de diseños.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Adaptar los ensayos de tracción indirecta de cilindros normales de hormigón y resistencia a la flexión en el laboratorio de diseño de concretos del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1. Recolectar información adecuada existente acerca del tema de prácticas de tracción indirecta y resistencia a la flexión, por medio de normas ,libros y todas posibles fuentes de información, esto con el fin de tener en cuenta las especificaciones técnicas y visualizar los elementos requeridos para sus elaboraciones

3.2.2. Diseñar y construir los elementos faltantes para la adecuación de las máquinas existentes en el laboratorio

3.2.3 Realizar los ensayos de tracción indirecta en cilindros normales de hormigón y resistencia a la flexión en vigas, con el fin de obtener los procedimientos a seguir y plantear unos formatos guías para proceder a una interpretación de los resultados obtenidos.

4. METODOLOGIA

4.1. TIPO DE ESTUDIO

Este proyecto es de tipo experimental ya que se fundamenta en hipótesis que pueden ser ciertas o falsas a partir de ensayos y pruebas de laboratorio que se realizaran basados en el cronograma de actividades planteado con anterioridad. Dichas pruebas indicarán si el proceso a continuar para formular la veracidad de la y así obtener los resultados de una manera ordenada y coherente.

Independiente de los percances encontrados durante el proceso se debe persistir en una solución que abarque las expectativas y que permitan continuar el proceso en busca del mejoramiento y evolución del sistema en investigación para así acercase a una solución que complazca las necesidades ya planteadas.

Si se logra finalizar todo el proceso cumpliendo con los objetivos de la manera planeada se esperan obtener unas pautas que sirvan de apoyo para próximas investigaciones relacionadas que permitan evolucionar el tema.

4.2. ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR LOS OBJETIVOS

A continuación se plantan las actividades indispensables para la realización de los objetivos:

- Revisión de la bibliografía para la construcción del Marco teórico: esta actividad consiste en verificar las fuentes de información y hacer una selección previa del material disponible

- Selección de temas: se le dará un orden lógico a cada uno de los temas de forma que se obtenga de una manera didáctica todos los conocimientos necesarios para la evaluación del proyecto.

- Revisión norma: leer y analizar la norma vigente y la que entraría en vigencia de forma que se pueda tener claro los aspectos a fortalecer.

- Conocer y ver procesos de cilindros sometidos a tracción, además de observar el equipo de modulo de rotura en POSTELECTRAS, una empresa comprometida con la investigación y el desarrollo de prácticas de laboratorio en el campo de los concretos.

- Diseñar los elementos requeridos para adaptar la maquina existente en el laboratorio de concretos.

- Adquirir los materiales necesarios para la adecuación del equipo de falla a compresión y de esta forma darle funcionalidad en falla a tracción.

- Realizar probetas con diferentes dosificaciones y fallarlas a los 28 dias

- Realizar los ensayos de tracción indirecta, modulo de rotura y resistencia a la compresión para determinar graficas.

- Montaje de los datos: se hará la modelación de todos los datos para obtener un informe de resultados.

- Validar datos: con los resultados obtenidos se determinan que tan aproximados son los diseños efectuados.

- Conclusiones y recomendaciones.

- Se dejara un guía con sus respectivos formatos para la elaboración de los laboratorios por parte de los estudiantes de ingeniería civil.

4.3. FUENTES Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.3.1. Fuentes primarias.

- Visita al laboratorio de concretos de Universidad Nacional de Col. Facultad de Minas (Robledo)

- Visitas a laboratorio de posteletras .s.a.

- Ensayos de laboratorio y análisis de resultados

- Acompañamiento del asesor de tesis. Juan Carlos Cardona Jiménez

4.3.2. Fuentes secundarias.

- Biblioteca temática de EPM.

- Biblioteca de la Escuela de Ingenieros de Antioquia (EIA).
- Biblioteca de la Universidad Eafit
- Biblioteca de la Universidad Nacional.
- Biblioteca del ICPC
- Norma NTC
- Norma NSR 98
- Normas ASTM
- Normas ACI

5. MARCO TEORICO

5.1. CARACTERISTICAS DEL HORMIGÓN

El hormigón elaborado de buena calidad es aquél que une a la resistencia mecánica solicitada, la durabilidad que lo mantenga en buenas condiciones durante el tiempo de la obra en servicio, y es obtenido a un precio razonable de modo que no pueda ser reemplazado por otro material.

5.1.1. Consistencia del hormigón

La determinación de la consistencia de la mezcla no mide directamente la trabajabilidad pero es de gran ayuda en obra.

Mediante los ensayos correspondientes permite calificar la facilidad con que el hormigón fresco puede fluir y clasificarlo entre rangos de consistencia muy definidos.

La medida de la consistencia del hormigón se hace normalmente con el ensayo IRAM 1536 que utiliza el Cono de Abrams, se denomina asentamiento, y es la diferencia entre la altura del cono que sirvió de molde y la del cono de hormigón que se forma al retirar el molde.

Para hormigones fluidos se realiza el "Ensayo de Extendido en la Mesa de Graf " que indica la consistencia y su tendencia a la segregación, midiendo el extendido de una masa de hormigón, desmoldado de un cono similar al de Abrams pero más pequeño, sobre una mesa especial, y sometido a sacudidas normalizadas. Este ensayo IRAM 1690 es adecuado para hormigones con asentamiento mayor de 15

que no pueden ser estimados con precisión con el método de asentamiento del cono.

5.1.2. Cohesión de la mezcla

Es otra condición indispensable para un buen comportamiento del hormigón elaborado fresco. La trabajabilidad resulta difícil de medir, pero el ojo avezado permite advertir, durante el desarrollo de los ensayos arriba mencionados, que en las mezclas sin cohesión hay una cierta facilidad para la segregación de los materiales al quedar en libertad el cono de hormigón, en especial en la forma como se separan los agregados gruesos y el agua, que son los componentes más afectados por este fenómeno.

Como se ha anteriormente expresado los medios tecnológicos actuales, permiten entregar en obra con consistencias muy variadas que van desde el semiseco hasta el fluido, pero estos últimos para mantener la cohesión requieren el empleo de un aditivo químico súper-fluidificante. Hay modernos súper-fluidificantes que permiten llegar a hormigones autonivelantes sin segregación de los materiales constituyentes.

5.1.3. Factores que afectan la trabajabilidad

Luego del análisis de los conceptos anteriores se puede concluir que para cada tipo o tarea de obra existe una trabajabilidad adecuada y que esta dependerá de la correcta valoración del tamaño-forma de los encofrados, disposición-cantidad de armadura, método de colocación-compactación y de las relativas a la mezcla consistencia-cohesión.

5.1.4. Hormigón compactado

Es el que al consolidarse ha llenado totalmente los encofrados y recubierto íntegramente las armaduras, dando a éstas buena protección y adherencia.

No deberá tener agua en exceso con lo cual la exudación será mínima. La compactación de los hormigones duros deberá hacerse con vibradores de mesa, de superficie o que actúen directamente sobre los encofrados. Los hormigones plásticos deben ser compactados con vibradores de inmersión, y los hormigones blandos o fluidos se compactarán manualmente con varillas de madera o de hierro.

Hay que recordar que los vibradores de inmersión deben introducirse en el hormigón con el vástago vibrador colocado verticalmente, ya que existe una mala práctica de colocarlo acostado, inclusive para hacer correr la masa de hormigón. Con esta forma de trabajo, las fuerzas que origina la acción vibratoria producen una fuerte segregación de la mezcla en la masa del hormigón.

Debe recordarse también que un exceso de vibración hace subir los finos, es decir la lechada de cemento, hacia la superficie y envía los agregados gruesos hacia abajo, lo que convierte al hormigón en heterogéneo y con distintas características, inclusive de resistencia, en diferentes alturas de la estructura.

5.1.5. Hormigón de resistencia uniforme

Pueden cumplirse perfectamente las cualidades mencionadas en los dos parágrafos anteriores, pero ellas sólo quedan completas con un buen curado, es decir evitando que se pierda la humedad que es indispensable para la hidratación del cemento, que lleva a su fraguado y endurecimiento. Sin humedad no hay fraguado ni endurecimiento en el tiempo.

Se inicia el curado con un buen humedecimiento de las bases si se trata de pavimentos de estructuras en contacto con el terreno, y de los encofrados para estructuras en elevación. Con estas últimas hay que tener especial cuidado cuando son absorbentes, en especial fenólicos o maderas nuevas, que se quedan

con parte del agua de mezclado que corresponde al hormigón. Porque es muy importante que el agua de mezclado sea retenida en la mayor cantidad posible dentro de la masa del hormigón, para el desarrollo de la resistencia inicial. Para evitar su pérdida, debe cuidarse inicialmente la estanqueidad de los encofrados para impedir la salida de lechada por sus uniones y zonas defectuosas. Una vez colocado y ejecutado la terminación superficial del hormigón, debe evitarse la evaporación del agua de mezclado, impidiendo el escape de la humedad por medio de membranas de curado, tapando las estructuras con polietileno o reponiendo el agua, una vez terminado el fraguado del cemento, por medio de llovizna fina que no lastime la superficie. Después de varias horas de hormigonado (lo que dependerá de las condiciones particulares de cada obra) puede ser usado inclusive el sistema de inundación recubriendo totalmente la estructura con agua. El período mínimo aconsejado para el curado de estructuras a temperatura normal (no más de 28° centígrados) y movimiento de aire mo derado es de 7 días, el que debe prolongarse con más calor en especial si sople viento o es un período de baja humedad atmosférica.

La falta total de curado, en el mejor de los casos hará perder a 28 días un 35% de la resistencia que el mismo hormigón daría con curado húmedo, y en condiciones extremas de sequedad, calor y viento la pérdida puede ser superior al 50%.

5.1.6. Hormigón endurecido

Es el estado final del hormigón una vez terminado su fraguado. Las características del hormigón al llegar a este estado, y que resultan de interés desde el punto de vista estructural, son las siguientes:

- La resistencia mecánica deberá estar acorde con las necesidades de la estructura. El hormigón elaborado, de acuerdo a la Norma IRAM 1666, se

controla por su resistencia a compresión simple en probetas cilíndricas normalizadas (curado húmedo) ensayadas a 28 días.

- Los resultados de estos ensayos son la base para determinar la calidad del hormigón, ya que a medida que su valor tiende a aumentar también aumentan otras cualidades muy importantes propias de este material, tales como la Durabilidad, la Impermeabilidad y la Terminación superficial, como las más destacadas.

- Por acuerdo previo entre el usuario y el productor, puede cambiarse la edad de los ensayos, y si necesidades de obra así lo indican pueden emplearse otras técnicas de ensayo para determinar resistencia a tracción por flexión (carga en los tercios de la luz) o resistencia a tracción simple por compresión diametral.

5.1.7. Durabilidad del hormigón

Expresa el comportamiento del material para oponerse a la acción agresiva del medio ambiente u otros factores como el desgaste, asegurando su integridad y la de las armaduras de refuerzo durante el período de construcción y después, a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura.

5.1.8. Impermeabilidad

Es una característica estrechamente ligada a la durabilidad y la que más colabora con ésta. La impermeabilidad es el resultado de disponer de un hormigón compacto y uniforme, con la suficiente cantidad de cemento, agregados de buena calidad y granulometría continua, dosificación racional, relación agua/cemento lo más baja posible dentro de las condiciones de obra para permitir un excelente llenado de encofrados y recubrimiento de armadura, eliminando toda posibilidad

de que queden en la masa bolsones de aire o nidos de abeja a fin de impedir que ingresen a la masa del hormigón los elementos agresivos.

Si la impermeabilidad es condición muy importante para el correcto funcionamiento y durabilidad de la estructura, el productor de hormigón elaborado puede agregar a pedido del usuario un aditivo químico para incorporar intencionalmente la cantidad de aire se mide en porcentaje sobre la masa total que sea necesaria.

5.1.9. Constancia de largo

Antes llamada Constancia de Volumen, las exigencias de la normalización internacional han hecho cambiar Volumen por Largo. Se considera así toda retracción o hinchamiento anormales que puedan producirse en el hormigón endurecido.

Estas se eliminan usando materiales que cumplan con las normas de calidad correspondiente, dosificadas racionalmente, con relación agua/cemento controlada, cuidando las operaciones desde la recepción hasta la terminación del hormigón colocado en las estructuras -en especial-, el curado final correcto.[1]

5.2. DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGON REFORZADO

Existen dos teorías para el diseño de estructuras de hormigón reforzado: La teoría elástica llamada también diseño por esfuerzos de trabajo y La teoría plástica ó

1"Hormigon Reforzado Roberto Rochel Awad, Primera Parte"

Diseño a la ruptura. La teoría elástica es ideal para calcular los esfuerzos y deformaciones que se presentan en una estructura de hormigón bajo las cargas de servicio. Sin embargo esta teoría es incapaz de predecir la resistencia última de la estructura con el fin de determinar la intensidad de las cargas que provocan la ruptura y así poder asignar coeficientes de seguridad, ya que la hipótesis de proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones es completamente errónea en la vecindad de la falla de la estructura. La teoría plástica es un método para calcular y diseñar secciones de hormigón reforzado fundado en las experiencias y teorías correspondientes al estado de ruptura de las teorías consideradas.

5.2.1. Ventajas del Diseño Plástico

- En la proximidad del fenómeno de ruptura, los esfuerzos no son proporcionales a las deformaciones unitarias, si se aplica la teoría elástica, esto llevaría errores hasta de un 50% al calcular los momentos resistentes últimos de una sección. En cambio, si se aplica la teoría plástica, se obtiene valores muy aproximados a los reales obtenidos en el laboratorio.

- La carga muerta en una estructura, generalmente es una cantidad invariable y bien definida, en cambio la carga viva puede variar más allá del control previsible. En la teoría plástica, se asignan diferentes factores de seguridad a ambas cargas tomando en cuenta sus características principales.

- En el cálculo del hormigón presforzado se hace necesario la aplicación del diseño plástico, porque bajo cargas de gran intensidad, los esfuerzos no son proporcionales a las deformaciones. El diseño de los miembros sujetos a carga axial y momento flexionante, rompiendo cumpliendo con las

condiciones aplicables de equilibrio y compatibilidad de deformaciones, las hipótesis son:

I. Las deformaciones unitarias en el hormigón se supondrán directamente proporcionales a su distancia del eje neutro. Excepto en los anclajes, la deformación unitaria de la varilla de refuerzo se supondrá igual a la deformación unitaria del HORMIGON en el mismo punto.

II. La deformación unitaria máxima en la fibra de compresión extrema se supondrá igual a 0.003 en la ruptura.

III. El esfuerzo en las varillas, inferior al límite elástico aparente Fy, debe tomarse igual al producto de 2.083 x 10^6 kg/cm^2 por la deformación unitaria de acero. Para deformaciones mayores que corresponden al límite elástico aparente, el esfuerzo en las barras debe considerarse independientemente de la deformación igual el límite elástico aparente Fy.

IV. Se desprecia la tensión en el hormigón en secciones sujetas a flexión.

V. En la ruptura, los esfuerzos en el hormigón no son proporcionales a las deformaciones unitarias. El diagrama de los esfuerzos de compresión puede suponerse rectangular, trapezoidal, parabólico, o de cualquier otra forma cuyos resultados concuerden con las pruebas de los laboratorios.

VI. La hipótesis anterior puede considerarse satisfecha para una distribución rectangular de esfuerzos definida como sigue: En la ruptura se puede suponer un esfuerzo de 0.85 f'c, uniformemente distribuido sobre una zona equivalente de compresión, limitada por los bordes de la sección transversal y una línea recta, paralela al eje neutro y localizada a una distancia a = ß1 c

a partir de la fibra de máxima deformación unitaria en compresión y el eje neutro, se medirá perpendicularmente a dicho eje. El coeficiente ß1 se tomará como 0.85 para esfuerzos f'c hasta de 280 kg/cm^2 y se reducirá continuamente en una proporción de 0.05 por cada 70 kg/cm^2 de esfuerzo en exceso de los 280 kg/cm^2.

5.2.2. Análisis de las Hipótesis:

La hipótesis #1, acepta la variación lineal de las deformaciones unitarias. Lo cual es cierto, excepto en la vecindad de la ruptura, pero las diferencias son muy pequeñas y no son dignas de tomarse en cuenta.

En cuanto a la deformación unitaria de las varillas de refuerzo es igual a la del hormigón en el mismo punto, es indispensable para el trabajo conjunto del acero de refuerzo y el hormigón

.

La hipótesis #2, señala la ruptura del hormigón, la deformación unitaria 0.003 cuyo valor concuerda con el promedio de los datos obtenidos en el laboratorio, resultando ligeramente conservador.

La hipótesis #3, se fundamenta en el diagrama esfuerzo−deformación de los aceros de refuerzo, y, para deformaciones mayores que las correspondientes al límite elástico aparente debe considerarse el esfuerzo en las varillas, independiente e igual a Fy porque se encuentran dichas deformaciones en la zona plástica del diagrama, el cual puede considerarse horizontal sin mucho error.

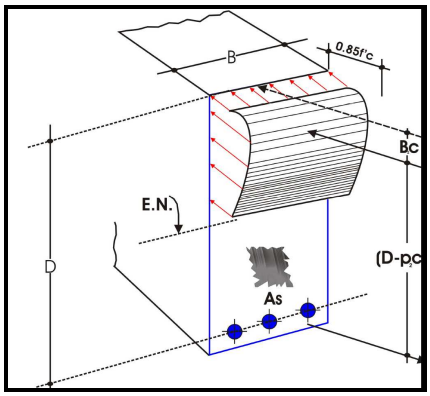
La hipótesis #4, desprecia la resistencia a la tensión del hormigón, en miembros sujetos a flexión. El error que con ello se comete es muy pequeño y permite establecer fórmulas mucho más sencillas que si se considera dicha resistencia

La hipótesis #5, se basa en una solución presentada en 1937 por Charles S. Whitney y tiene la ventaja de proporcionar un método muy sencillo de análisis de las cuñas de esfuerzos de compresión.

5.2.3. Método de Charles S. Whitney

Este método consiste en suponer una distribución uniforme de los esfuerzos de compresión de intensidad 0.85 f'c actuando sobre un área rectangular limitada por los bordes de la sección y una recta paralela el eje neutro, localizada a una distancia a = ß1 c de la fibra de máxima deformación en compresión.[2]

Figura 1. Método de Charles S. Whitney



Fuente: J. CALAVERA, Dr. Ingeniero de Caminos

2 "J. CALAVERA, Dr. Ingeniero de Caminos"

5.3. INSTRUMENTACION Y AUTOMATIZACION DEL EQUIPO DE TRACCION INDIRECTA

5.3.1. Construcción de un adquisidor y el uso de sensores

Para la adquisición de datos de los sensores se construyo un ADU (unidad de adquisición de datos) que nos permite obtener la lectura digital de los valores de carga y deformación, la automatización del anillo de carga se realiza con el uso de Strain Gauge.[3]

Figura 2. Strain Gauge

Fuente: Lottman, R. P. et

5.3.2. La mordaza de tracción

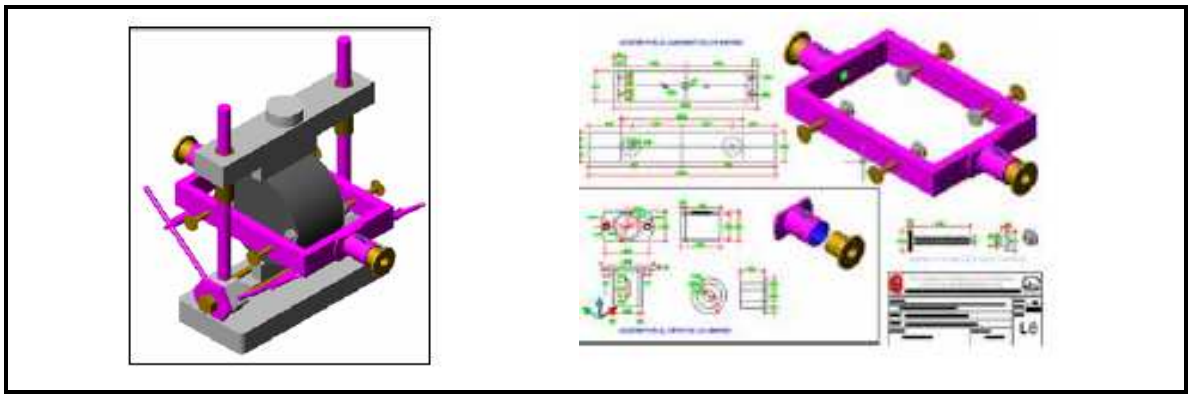
Se realizo la construcción de una mordaza de tracción de acuerdo a las características establecidas en la norma **AASHTO T283,** a la cual se añadió un marco de sensores que controlan las deformaciones horizontales tal como se hace en el ensayo de modulo resilente, este tiene la ventaja que la variación de los

---

3“ Lottman, R. P. et al”

esfuerzos es finita en el diámetro del espécimen, con ello luego se puede integrar para obtener el módulo de elasticidad.

Figura 3. Mordaza de tracción



Fuente: Lottman, R. P. et

Mordaza de tracción indirecta con soporte de sensores horizontales desarrollado en el Laboratorio de Mecánica de suelos y pavimentos de la FIC – UNI (diseño CAD)

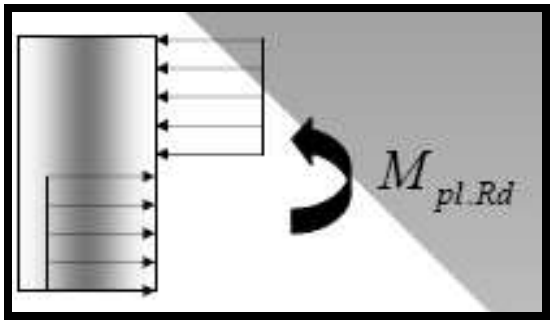
Figura 4. Mordaza de tracción

Fuente: Lottman, R. P. et al,año

5.4. RESISTENCIA A FLEXION

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de hormigón no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de hormigón de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

Figura 5. Diagrama de Momentos clase 1 y 2

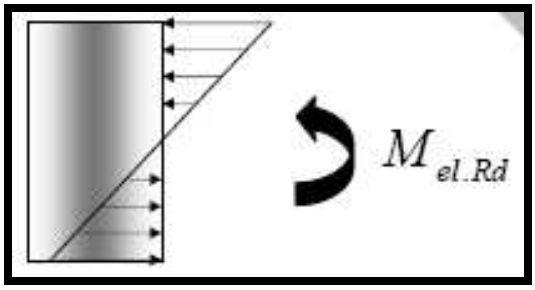


Fuente: manual de simesa

Resistencia plástica de la sección bruta para las secciones de clase 1 y 2

$$M_{pl.Rd} = W_{pl} * \frac{f_y}{\gamma M_0}$$

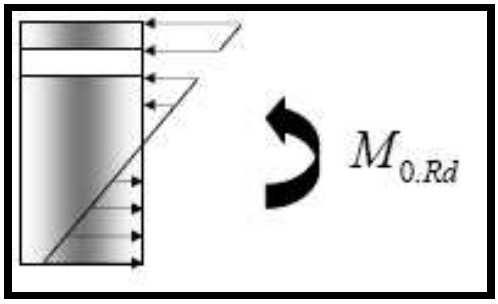
Figura 6. Diagrama de Momentos clase 3



Fuente: manual de simesa

Resistencia elástica de la sección bruta de clase 3 $M_{el.Rd} = W_{el} * \frac{f_y}{\gamma M_0}$

Figura 7. Diagrama de Momentos clase 4



Fuente: manual de simesa

Resistencia a la abolladura par alas secciones de clase 4 $M_{0.Rd} = W_{eff} * \frac{f_y}{\gamma M1}$

- Agujeros en zona comprimida: Sólo se descontarán cuando no se dispongan los correspondientes tornillos o cuando se trate de agujeros rasgados o sobre dimensionados.[4]

- Agujeros en zona traccionada: Se descontarán únicamente cuando la resistencia última de la zona traccionada sea inferior a la plástica, es decir, cuando:

$$A_{neta,t} < \frac{A_t \cdot f_y \cdot \gamma_{M2}}{\gamma_{M0} \cdot 0{,}9 \cdot f_u}$$

4 "Manual de Simesa"

6. FUENTES TEORICAS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA EN CILINDROS NORMALES DE HORMIGON Y MODULO DE ROTURA EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS

6.1. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A TRACCION POR FLEXION DEL HORMIGÓN, EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO

6.1.1. Maquina de Ensayo

La máquina ELE ADR1000 para el ensayo tiene un dispositivo que asegure que las fuerzas aplicadas a la viga, se mantengan verticales y sin excentricidad. El equipo para producir la flexión deberá estar diseñado de acuerdo a los siguientes principios:

- El aparato será capaz de mantener la distancia entre apoyos; las distancias entre las placas de carga y las de apoyo deberán mantenerse constantes con aproximación de más o menos 2.0mm.

- La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de manera tal que se evite toda excentricidad.

- La dirección de las reacciones deberá ser paralela a la dirección de la carga aplicada, mientras dure la prueba.

- La carga se incrementara gradualmente y sin impacto.

- La relación entre la distancia desde el punto de aplicación de la carga a su reacción más cercana y la altura de la viga, no deberá ser menor que la unidad.

- Condiciones que debe cumplir el equipo de falla a flexión:

  - Las placas de carga y de apoyo no tendrán más e 60mm de alto, medido desde el centro o eje del pivote y deberán cubrir todo el ancho de la probeta. Cada superficie de apoyo en contacto con la probeta tendrá forma cilíndrica y su eje deberá coincidir con el rodillo o con el centro de la rotula esférica según el caso. El ángulo al centro definido por la superficie curva de cada placa tendrá por lo menos 45º.

  - Las placas de carga y de apoyo deben mantenerse en posición vertical y en contacto con el rodillo o rotula esférica por medio de tornillos con resortes que los mantengan en contacto.

6.1.2. Probeta

La probeta tendrá una luz libre lo más cercana posible a tres veces su altura. Las caras laterales de la probeta formaran ángulos rectos con la superior e inferior.

6.1.3. Procedimiento

La probeta deberá voltearse sobre uno de sus lados con respecto a la posición inicial de vaciado y centrarse respecto a las placas de apoyo. Las placas de aplicación de carga se pondrán en contacto con la probeta y sobre los puntos extremos del tercio central de la luz libre. Si no se obtiene un contacto completo entre la probeta y las cargas de aplicación de la carga o de apoyo será necesario

recubrir, lijar o suplementar con tiras de cuero. Se podrán utilizar tiras de cuero solamente cuando las superficies de la probeta en contacto con las placas de soporte difieren de un plano en no más de 0.4 mm. Las tiras de cuero serán de un espesor uniforme de 6mm, de 25 o 50mm de ancho y se extenderán a todo lo ancho de la probeta.

- Medición de las probetas después del ensayo: las medidas se tomaran con una aproximación de 1mm con el fin de determinar el ancho y la altura promedio de la probeta en la sección de falla.

- Calculo: si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el modulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

$Mr=(P*L)/(b*h^2)$

Mr: modulo de rotura en Kg/cm^2
P: carga máxima aplicada registrada por la máquina de ensayo, Kg
L: luz, cm
b: ancho promedio de la probeta, cm
h: altura promedio de la probeta, cm

NOTA: el peso de la viga no está incluido en el cálculo anterior.

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor del 5% de la luz libre, el modulo de rotura se calculara de la siguiente manera:

$Mr= (3P*a)/(b*h^2)$

a: distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida sobre el eje de simetría de la carga inferior de la viga, expresada en cm.

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este mayor del 5% de la luz libre, los resultados del ensayo serán descartados.

6.1.4 Informe

El informe deberá incluir lo siguiente:

- Identificación
- Ancho promedio con aproximación de 1mm (cm)
- Altura promedio con aproximación de 1mm (cm)
- Luz libre (cm)
- Carga máxima aplicada (Kg)
- Modulo de rotura calculado con la aproximación de 0.5 Kg/cm^2
- Momento de rotura (Kg-cm)
- Condiciones aparentes de humedad de la probeta en el momento de ensayo.

- Condiciones de curado
- Si la probeta fue recubierta, lijada o si se suplemento con tiras de cuero
- Defectos en la probeta
- Edad de la probeta
- Observaciones (forma y situación de la sección de rotura)

6.1.5 Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión

- Aparatos
  - Moldes para probetas de ensayo a flexión:Los moldes para elaborar probetas de ensayo a flexión, deberán ser de sección cuadrada o prismas rectangulares y de las dimensiones ya estipuladas anteriormente. La longitud de los mismos será por lo menos 5cm mayor que la luz del tramo especificada en el método de ensayo para determinar la resistencia a tracción por flexión del HORMIGON en vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del tramo.

    Los moldes deberán de ser impermeables, hechos de un material rígido y no absorbente, con dispositivos para asegurar firmemente la placa de base a los mismos. Las superficies inferiores deberán de ser lisas, planas y sin imperfecciones; los lados, la base y los extremos formaran ángulos rectos. La máxima variación de la dimensión transversal nominal, no excederá de 3.0 mm para moldes

con altura o ancho de 15 cm o mas, y de 1.5 mm para moldes de altura o ancho menor. El molde junto con su placa de base se lubricara con una película de aceite mineral antes de usarse.

- Barras Compactadoras: las barras compactadoras deberán ser rectas, lisas, de acero, redondas y de las siguientes dimensiones:

  1)Barras de 16 mm (5/8”) de diámetro, de aproximadamente 60 cm de longitud y punta semiesférica.

  2)Barras de 9.5 mm (3/8”) de diámetro, de aproximadamente 30 cm de longitud y punta semiesférica.

- Vibradores: los vibradores internos podrán ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por un motor eléctrico. La frecuencia de la vibración será de 7000 rpm o mayor.

  El diámetro exterior del elemento vibrador estará comprendido entre 19 mm y 38 mm; la longitud mínima del eje será de 60 cm; en todo caso, la longitud del eje mas el elemento vibrador deberá exceder en por lo menos 75 mm, la profundidad del elemento que se vibra. Los vibradores externos podrán ser del tipo de mesa o de plancha vibratoria. Su frecuencia no será menor de 3600 rpm y preferiblemente mayor. Tanto la mesa vibratoria como la plancha deberán contar con dispositivos para fijar firmemente el molde a las mismas, además de un tacómetro para verificar la frecuencia de vibración.

- Herramientas Menores: se dispondrá de herramientas y artículos tales como palas, baldes, llanas metálicas y de madera, cucharas, enrasadores, cucharones, reglas, guantes de goma y recipientes metálicos de mezclado.

- Balanzas: las balanzas para pesar porciones de materiales y hormigón, deberán satisfacer las especificaciones del reciproco de la sensibilidad y las tolerancias estipuladas por el organismo oficial competente.

  NOTA: no se deben pesar cantidades pequeñas en balanzas de gran capacidad. En general, una balanza no se deberá emplear para pesar cantidades menores del 10% de su capacidad total.

- Mezclado: el mezclado se realizara de acuerdo con el método para mezclado de hormigón en el laboratorio

- Numero de Probetas: el número de probetas y de mezclas dependerá fundamentalmente de la naturaleza del programa de ensayos. En general, se harán tres o más probetas para cada variable y cada edad y condición de ensayo. Las probetas preparadas para determinar una variable cualquiera se harán de por lo menos tres mezclas elaboradas en diferentes días. Se hará un número igual de probetas para cada variable en un día dado. Cuando sea imposible elaborar por lo menos una probeta por cada variable en un día dado, la mezcla de todas las series de probetas se completara en el menor número de días posibles y una de las mezclas se repetirá cada día para tener un patrón de comparación.

6.1.6. Condiciones optimas para realizar ensayo

- Factores que afectan la resistencia a flexión

  - **El Cemento.** Por supuesto la calidad del cemento es de primera importancia como determinante de la resistencia de una mezcla; aunque el tema es de gran interés, se dejara a un lado por estar casi siempre fuera del alcance del diseñador o del constructor.

  - **El Agua.** Para obtener una mezcla de trabajabilidad adecuada es necesario agregar a las mezclas una cantidad de agua entre 50 y 100% mayor de la necesaria para hidratar el cemento; el agua libre al evaporarse deja pequeños poros dentro del HORMIGON, que hacen disminuir su resistencia; por esta razón se hace necesario mantener el contenido de agua de la mezcla en el mínimo indispensable para obtener una trabajabilidad adecuada.

    La cantidad de agua se debe medir entonces con relación al contenido de cemento, o sea la conocida relación agua–cemento A/C.Cuando a una mezcla determinada se le aumenta el contenido de cemento con objeto de aumentar su resistencia, lo que realmente se hace es agregar un material sumamente fino como es el cemento, que por tanto hace la mezcla más trabajable, permitiendo rebajar la relación agua–cemento y obtener así indirectamente una resistencia mayor ; queda entonces claro el porqué al diseñar una mezcla con unos materiales determinados el primer paso es escoger la relación agua–cemento, y uno de los últimos es calcular el contenido de cemento.

- **La Arena.** Aparte de la dureza y la inalterabilidad de las partículas de la arena, cuya influencia es fácil entender, la granulometría de la arena y su finura son factores de importancia en las mezclas; la forma que tenga la curva granulométrica misma es de poca importancia, siempre que sea continua, ya que si se presenta ausencia de un tamaño intermedio de partículas la mezcla puede resultar poco trabajable, obligando entonces a un alto contenido de agua.

  La finura de la arena, medida por el módulo de finura, influye en cuanto a que si la arena es muy gruesa la mezcla resulta poco trabajable y hay necesidad de aumentar la cantidad de pasta, y si es muy fina obliga una mayor cantidad de agua libre para lubricar la mezcla, dada la mayor superficie específica de la arena fina.El contenido de los lodos (partículas menores de tamiz N. 200) y el contenido de materia orgánica deben ser controlados rigurosamente dada la pérdida de resistencia a flexión y a abrasión que producen en el hormigón.

- **El Agregado Grueso.** En cuanto a granulometría, contenido de lodos y materia orgánica, son válidas las observaciones hechas para la arena; el tamaño máximo del agregado influye en la resistencia en forma tal que para contenidos de cemento bajos (menos de 300 kg/m^3) aumenta cuando se disminuye el tamaño máximo, y para contenidos de cemento altos (más de 300 kg/m^3) la resistencia aumenta al aumentar el tamaño máximo.

Aunque se acepta generalmente que la resistencia a flexión es dependiente en gran medida de la calidad estructural del agregado grueso, no hay hasta ahora un sistema de ensayo que permita medir adecuadamente esta calidad; el ensayo de abrasión en la máquina de los Angeles, aunque se usa muy ampliamente, presenta limitaciones a este respecto; es recomendable entonces, cuando se quiere comparar dos tipos de agregado grueso, hacer mezclas de ensayo y fallar vigas a flexión para conocer el módulo de rotura de cada una.

- Resistencia del hormigón: Los esfuerzos de compresión directa a que está sometido el hormigón son despreciables con relación a la capacidad del material a compresión; en cambio los esfuerzos de tracción y especialmente los de flexión sí alcanzan magnitud suficiente como para quedar relativamente cerca a la capacidad del material; por tanto en el diseño de mezclas para hormigón, la resistencia que define la calidad del hormigón es el módulo de rotura, que se obtiene ensayando a flexión vigas de 6*6*24 pulgadas.

  Para un conjunto de cemento y agregados determinados existe una relación aproximadamente fija entre la resistencia a compresión y a flexión (ensayo de cilindros – ensayo de vigas); sin embargo cuando se cambia alguno de los materiales la relación presenta cambios de magnitud apreciable: el módulo de rotura varía entre el 12 y el 24% de la resistencia a compresión.

6.2. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL HORMIGON A TRACCIÓN INDIRECTA USANDO PROBETAS CILINDRICAS

Este método describe el procedimiento para determinar la resistencia del hormigón a tracción indirecta en probetas cilíndricas.

6.2.1. Aparatos

- Máquina de Ensayo: Se requiere una máquina de ensayo de cualquier tipo que permita aplicar cargas a la velocidad de carga.

- Placa suplementaria para la aplicación de la carga: Si la dimensión mayor de la placa de carga superior o de la placa de apoyo inferior de la máquina de ensayo es menor que la longitud del cilindro por ensayar, se usará una placa adicional de acero. Las superficies de dicha placa serán rectificadas con una aproximación de más o menos 0,025 mm del plano, medida sobre cualquier línea de contacto e la placa de apoyo. Tendrá un ancho de por lo menos 50 mm y un espesor por lo menos igual a la distancia del borde de la placa de apoyo esférica o rectangular al extremo del cilindro.

- Tiras de contacto: Para cada probeta se usarán dos tiras de contacto de madera contra enchapada (u otro material similar) de un espesor nominal de 3,0 mm, libre de imperfecciones, de un ancho aproximado de 15 mm y una longitud de la probeta. Las tiras de contacto se colocarán entre la probeta y las placas de apoyo superior o inferior de la máquina de ensayo, o entre la probeta y las placas suplementarias, si estas se usan.

- Probetas: La elaboración y el curado de las probetas de ensayo, se harán de acuerdo a lo especificado en el Método para la Elaboración, Curado y Ensayo de Probetas Cilíndricas de hormigón.

6.2.2 Método para la elaboración, curado y ensayo de probetas cilíndricas de hormigón

- Alcance: Este método describe los procedimientos para la elaboración, curado y ensayo de probetas cilíndricas de HORMIGON. Los valores de resistencia obtenidos en base a probetas de HORMIGON, además de ser índice de la resistencia del material ensayado, deben servir como criterio de control de la uniformidad de calidad del material elaborado.

- Aparatos

  - Cuchara de muestreo y cuchara de albañilería. Moldes metálicos cilíndricos, preferiblemente estancos, de 152,5 mm más o menos 2,5 mm de diámetro, por 305,0 más o menos 6,0 mm de altura.

  - Barra Compactadora: Una barra recta de acero, lisa, de 16 mm (5/8”) de diámetro, de aproximadamente 60 cm de longitud y punta semiesférica.

  - Base del Molde de Material no Absorbente: Preferiblemente se usará una base metálica, con un espesor mínimo de 7 mm y con una muesca.

- Mezclado: El mezclado se realizará de acuerdo con lo indicado en el Método para Mezclado de hormigón en el Laboratorio.

- Muestreo: La muestra deberá ser representativa de la mezcla que se está vaciando y su volumen no será menor de 30 litros.

  El material que se usará en la elaboración de cilindros de ensayo, deberá ser muestreado, justo antes de su colocación en el encofrado. Las probetas deberán ser identificables con la parte de la estructura a que corresponde el material a partir del cual fueron elaboradas. Será preferible hacer el muestreo en aquellas partes de la estructura donde sea factible prever las solicitaciones máximas.

  Las probetas cilíndricas extraídas de hormigón endurecido deberán cumplir con los requisitos de tamaño y curado indicados en el Método para la Extracción y Ensayo de Probetas Cilíndricas y Viguetas de hormigón Endurecido.

- Procedimiento

  - Marcado: Se marcarán líneas diametrales en cada extremo de las probetas usando un medio adecuado que asegure que estén en el mismo plano axial.

  - Medidas: Determínese el diámetro de la probeta de ensayo con una aproximación de 1,0 mm promediando 3 diámetros medidos cerca de los extremos y a mitad de la probeta, que queden en el plano que contiene las líneas marcadas en los 2 extremos. Determínese la

longitud de la probeta con una aproximación de 1,0 mm promediando por lo menos 2 medidas longitudinales tomadas de un plano que contenga las líneas marcadas en los dos extremos.

- Centrado: Céntrese una de las tiras de contacto a lo largo del centro de la placa de acero inferior. Colóquese la probeta sobre la tira y alinéese de tal modo que las líneas marcadas en el extremo de la probeta sean verticales y queden centradas sobre la tira de contacto. Colóquese la segunda tira longitudinalmente sobre el cilindro, centrada sobre las líneas marcadas en los extremos del mismo. Colóquese el conjunto de tal manera que se aseguren las siguientes condiciones; la proyección del plano que contiene las dos líneas marcadas en los extremos de la probeta deberá interceptar el centro de la placa superior de apoyo. La placa suplementaria, si se usa, y el centro de la probeta estarán directamente por debajo del centro de carga de la placa de apoyo esférico.

- Velocidad de carga: Aplíquese la carga continuamente y sin impacto a una velocidad constante de manera que los esfuerzos en el plano diametral de rotura aumenten en 0,5 más o menos 0,2 kg/cm^2 por segundo, hasta la falla de la probeta.

- Cálculos: EL esfuerzo de tracción de la probeta se calculará como sigue:

$\sigma_{br} = (2P)/(\pi*L*d)$

donde:

σ_{br} **=** esfuerzo de tracción, kg/cm^2

P= carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, kg

L= longitud, cm

d= diámetro, cm

- El informe debe incluir lo siguiente:

1)Número de identificación

2)Diámetro y longitud (cm)

3)Carga máxima (kg)

4)Esfuerzo de tracción calculado con una aproximación de 0,5 kg/cm^2

5)Edad de la probeta

6)Condiciones de curado

7)Observaciones (proporción estimada de agregado grueso fracturado, defectos de la probeta, tipo de falla, etc.).

6.3. MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN ESTÁNDAR PARA CILINDROS NORMALES DE HORMIGON

Los cilindros son preparados mediante la colocación de una muestra representativa dentro del molde, curando los cilindros, removiendo los cilindros de los moldes, y cabeceando los cilindros para ensayo de compresión. Los cilindros son entonces ensayados para obtener la resistencia a compresión. Cilindros duplicados son requeridos.

6.3.1 Aparatos.

- Moldes cilíndricos: Moldes de 15 cm (6 pulg.) de diámetro y por 30 cm (12 pulg.) de altura, conforme a la Especificación C 470. Otros tamaños y tipos de moldes pueden ser usados tan grandes como la relación longitud a diámetro sea 2 a 1. Los moldes de 15 x 30 cm (6 x 12 pulg.) son preferidos por que el área de la superficie es grande a los extremos de los cilindros.

- Recipiente de Muestreo y Mezclado: El recipiente será un contenedor adecuado de calibre pesado, carretilla, etc. de suficiente capacidad para permitir fácilmente el muestreo y mezclado, para permitir la preparación de al menos dos cilindros.

- Ambiente de Curado: Un ambiente de curado (baño de agua, arena húmeda, cuarto húmedo) que reúna los requisitos del Método C 192. Los cilindros pueden ser curados en el mismo ambiente de curado usado para cilindros de concreto en el laboratorio desarrollando el ensayo.

- Herramientas menores:herramientas y accesorios que puedan ser requeridos tales como cucharas, palas, enrasadores y cucharones.

- Procedimiento y precauciones a tener en cuenta
  - Colocación del Espécimen: Coloque el bloque de carga inferior, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o placa de la maquina de ensayo directamente bajo el bloque de carga con asiento esférico superior. Limpie las caras de los bloques de carga superior e inferior y del espécimen de ensayo, y coloque el espécimen de ensayo en el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinee el eje del espécimen con el centro del cabezal del bloque con asiento esférico. Como el bloque con asiento esférico es llevado para apoyarse en el borde superior del espécimen, rótelo de su posición móvil, suavemente con la mano para obtener asiento uniforme.

  - Razón de Carga: Aplique la carga continuamente y sin golpe, a razón constante, de tal forma que el cilindro falle en no menos de 2 min. No haga ajustes en los controles de la maquina de ensayo cuando un espécimen está cediendo rápidamente, inmediatamente antes de la falla.

  - Aplique la carga hasta que el espécimen falle, y registre la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo. Alrededor de uno por cada diez cilindros continúe la carga hasta que el cilindro quiebre lo suficiente para observar la apariencia del interior del espécimen. Note alguna aparente segregación, lentes, bolsas, y el parecido en el espécimen.

- Cálculos: Calcule y registre la resistencia a compresión de los especímenes como se muestra a continuación:

  $C = P / A = 4P / D\pi$

  Donde
  C = resistencia a la compresión, kPa (lbf/pulg2)
  D = diámetro nominal del cilindro (normalmente 15 cm o 6 pulg.)
  P = carga máxima, kN, (lbf)

- El informe deberá incluir
  - Identificación, por ejemplo, mezcla, numero de cilindro, localización, etc.
  - Diámetro y longitud, cm (pulg.)
  - Area de la sección transversal, cm^2 ($pulg^2$).
  - Carga máxima, kN (lbf).
  - Resistencia a la compresión, kPa ($lb/pulg^2$)
  - Edad del espécimen.
  - Marcas apropiadas como el tipo de falla, defectos notados o no uniformidad del material.

7. DISEÑO ADAPTACION Y ELABORACION DE ELEMENTOS REQUERIDOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS ENSAYOS

7.1. EQUIPO AL CUAL SE ADAPTARA PARA LAS PRACTICAS

Esta es la maquina a la cual se le adaptaran los elementos para realizar ensayo de modulo de rotura en vigas simplemente apoyadas y el ensayo de tracción indirecta en cilindros normales de hormigón

Figura 8. Maquina ELE ADR 1000

- Especificaciones

  - Capacidad: 500.000 lbf. (kN 2.224). Separación vertical. 19.62" (498 milímetros) sin montaje superior del cristal de exposición.

  - Separación horizontal: 14" (355 milímetros) entre los montantes.

  - Espolón: 8.75" diámetro (222 milímetros); 2.5" movimiento (64 milímetros) con la protección del interruptor de límite de la sobreactuación.

  - Bomba: 1 bomba electrohidráulica del c. v. (0.7 kilovatios) montó dentro de depósito con la protección de la sobrecarga.

  - Controles hidráulicos: La presión compensó la válvula de control de flujo con la palanca de mando de 4 posiciones y la válvula de flujo ajustable. Botones partida/parada de la bomba.

  - Bajar el cristal de exposición: 12" w. x 16" d. x 2" h. (305 x 406 x 50 milímetros) con los círculos concéntricos y las líneas trazados.

  - Sistema de visualización: Indicador digital con el telclado numérico de la membrana; bargraph de la desviación del paso;cálculo automático de la tensión; almacenaje de la fecha para 500 pruebas; Salida de datos de RS232C y puertos de impresora.

- Gama: 5.000 a 500.000 lbf. (22.4 a 2.224. kN). Exactitud. Calibrado en la fábrica a dentro 1.0% de la lectura - a partir la 1% a 100% de la capacidad de máquina.

- Dimensiones. 31.25" " del W.X 21; d. x 50.75" h. (794 x 533 x 1.289 milímetros).

- Peso. Red 1.700 libras. (771 kilogramos).

➢ Descripción de la accu-tek 1000

El probador de la compresión de la serie de ACCU-TEK™ 1000 digital series cubre las demandas de la prueba extensa de la capacidad de carga combinando tecnología de microprocesador con la construcción sólida rugosa del marco de acero para el concreto de alta resistencia de la prueba. El diseño de la sola unidad del ahorro de espacio consiste en 1000.000 lbf resistente. (Marco de la carga de la capacidad de 2.224 kN), pompa hidráulica y sistema del indicador digital. El sistema del indicador digital proporciona un teclado numérico fácil de utilizar de la membrana, haciendo simple el proceso de selección de parámetros de funcionamiento. Un gráfico de barra de la desviación del paso permite el ajuste fino de la velocidad de carga y el cálculo automático de la tensión es fácil de leer en la exhibición grande. El sistema tiene almacenamiento de datos y capacidades de transferencia para 500 pruebas. El bloque más bajo grande del cojinete, combinado con bramidos, elimina los escapes hidráulicos evitando que el polvo y la ruina entren en el área de sello del pistón/del cilindro del bastidor de la carga. Las 14" (355 milímetros) de la amplia abertura horizontal proporciona la accesibilidad completa para el montaje de

las probetas. Con rapid-change el sistema del cristal de exposición, el operador puede montar rápidamente y fácilmente una amplia gama de accesorios a la cruceta superior para el cilindro, el cubo, la viga, y la prueba del espécimen del bloque - de 2" cubos (50 milímetros) a 12" bloques de la albañilería (305 milímetros).

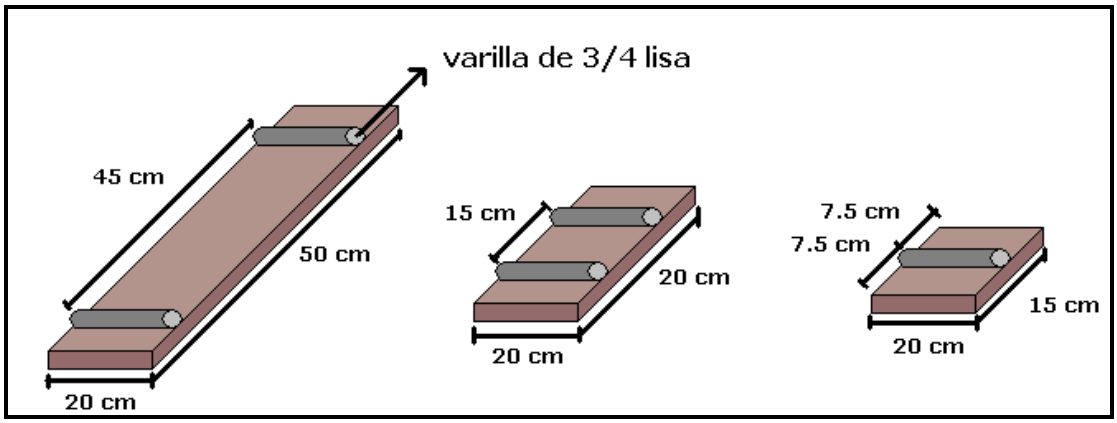
- Opciones del accu-tek™ 1000 digital series.

  - Exhibición seleccionable en unidades inglesas y métricas.
  - Gráfico de barra de la desviación del paso.
  - Cálculo y exhibición automáticos de la tensión.
  - Protectores de la seguridad proporcionados como estándar.
  - Protección de la sobreactuación y de la sobrecarga de la seguridad.
  - Adaptable, usar una amplia gama de accesorios, para el cilindro, el cubo, la viga, y la prueba del espécimen del bloque.
  - Rápido-cambiar el sistema del montaje del cristal de exposición para el cambio accesorio fácil.
  - Reuniones ASTM y especificaciones de AASHTO.

7.1.1. Ensayo modulo de rotura

- Diseño de elementos para la elaboración del ensayo: los elementos diseñados constan de tres platinas de e= 3/4pulg y varillas de 3/4pulg lisa, la primer platina sirve de base para probeta a fallar haciendo las veces de apoyos simples en los extremos, la segunda y la tercer platina son aquellas que transmiten las carga de manera uniforme en la dirección transversal a la probeta cuando se aplica la carga; sea a los tercios o en el centro del elemento a fallar.

Figura 9. Diseños de elementos para modulo de rotura.



- Platinas ¾ o ½ propiedades: Las platinas son sección rectangular, con superficie lisa, y se fabrican a partir de palanquillas laminadas en caliente. Se encuentran en calidad comercial y calidad ASTM-A-36, en longitudes de 6 mts. Ver anexo A

- Varilla de ¾ lisa propiedades y usos: Se fabrican a partir de palanquillas laminadas en caliente, pueden ser lisas según la norma

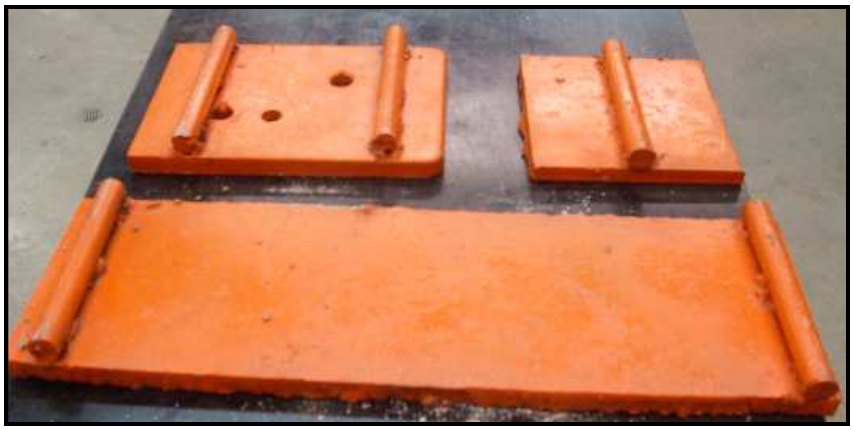
NTC-161 o corrugadas según la norma NTC-2289. Se suministran en longitudes de 6, 9 o 12 mts. Otras medidas disponibles a solicitud del cliente.

1)Especificaciones y dimensiones comerciales: Ver Anexo B

2)Usos: Se utilizan principalmente en la industria de la construcción para la fabricación de estructuras metálicas como puentes, edificios, torres de transmisión. Se emplea también en la carpintería metálica, en la industria automotriz, ornamentación, puente grúas entre otros.

- Elementos físicos definitivos: los elementos diseñados que se pueden observar en la siguiente figura, serán utilizados para la implementación y la elaboración de los ensayos; estos elementos serán donados al laboratorio de universidad politécnico Jaime isaza Cadavid.

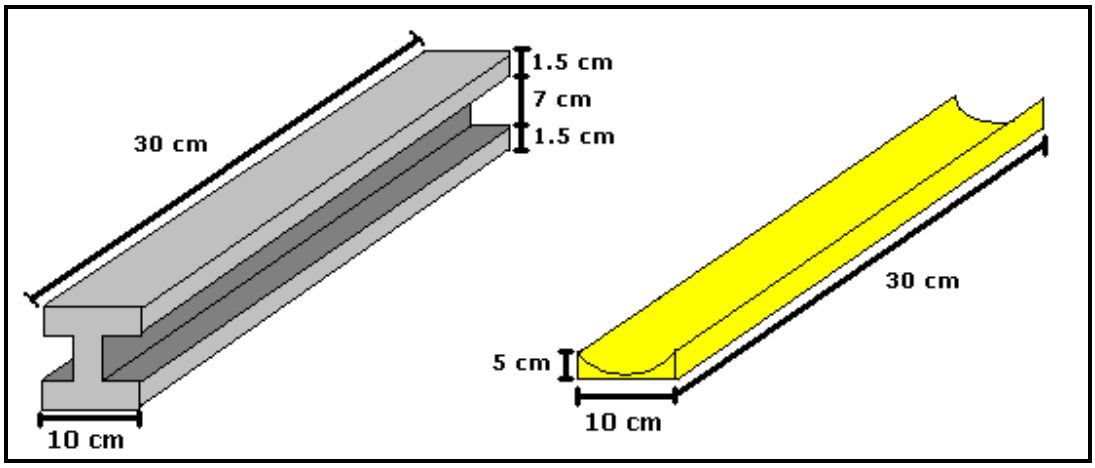
Figura 10. Elementos para ensayo de modulo de rotura.



7.1.2. Ensayo de tracción indirecta en cilindros de hormigón

- Diseños de elementos requeridos para la elaboración del ensayo

Figura 11. Diseño de elementos para ensayo de tracción indirecta.



Nota: son dos de cada elemento de cada uno

- Vigas de sección en I: Son fabricados a partir de palanquillas laminadas en caliente. Vigas en I significa que la altura es mayor que el ancho de las alas. Se conocen también como vigas doble T. En el mercado se encuentran vigas tipo europeo IPE, IPN, o americana tipo S de 6 y 12 mts de longitud, calidad ASTM-A-36 y ASTM-A-572 Gr 50.estos secciones se encuentran en diferentes alturas de 80mm. hasta 600mm. Ver anexo c

- Platinas roladas: Ver anexo D

1) Láminas Cold Rolled: Son elementos de acero dulce que se obtienen a través de la laminación en frío de bobinas o bandas en caliente mediante reducción de espesor, y la aplicación de tratamientos térmicos para obtener las características mecánicas finales.
Usos: Se utilizan para la fabricación de techos, perfiles soldados, piezas automotrices, tubos soldados, electrodomésticos, carpintería metálica y en la construcción.

2) Láminas Hot Rolled: Son elementos planos de acero que se obtienen por laminación en caliente de planchones. Se ofrece en espesores entre 1.50mm hasta 100mm en bobinas, flejes u hojas.
Usos: Se utiliza en la industria naval, industria metalmecánica, industria de la construcción, estructuras metálicas, piezas automotrices, tanques para almacenamiento, fabricación de tubos soldados, recipientes a presión, utensilios agrícolas, entre otros.

3) Láminas Galvanizadas: Son obtenidos de una bobina de acero laminada en frío, revestida por ambas caras con una capa de Zinc aplicada por inmersión en caliente. Esta lámina tiene propiedades especiales de durabilidad, maleabilidad, resistencia, economía y versatilidad.
Usos: Se utiliza en la industria metalmecánica, para la fabricación de equipos de aire acondicionado, estufas, neveras, ventanas, carrocerías, industria automotriz, vallas publicitarias, industria de la construcción, entre otras muchas aplicaciones.

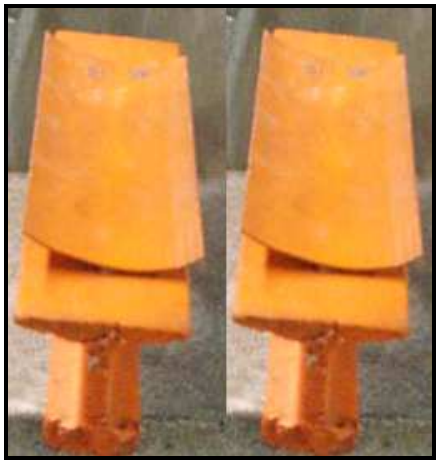
4)Láminas Alfajor o Antideslizantes: Se obtienen mediante laminación en caliente con deformaciones en alto relieve (lágrimas).

Usos: Se emplea en la industria metalmecánica, automotriz, en la fabricación de escaleras, pisos de alta circulación, blindajes, entre otros. Ver anexo D

- Elementos ya construidos elementos físicos definitivos:

Los elementos diseñados que se pueden observar en la siguiente figura #, serán utilizados para la implementación y la elaboración de los ensayos; su elaboración constan de una sección en I esta con la función de distribuir la carga de manera homogénea a lo largo de la probeta, y una platina rolada la cual cumple la función de que la probeta quede céntrica e inmóvil a la hora de aplicarle la carga ; estos elementos serán donados al laboratorio del politécnico Jaime isaza cadavid .

Figura 12. Elemento para ensayo de tracción indirecta.



8. ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, MODULO DE ROTURA Y FORMATOS GUIAS

8.1 DOSIFICACIONES DE LAS MEZCLAS Y CRONOGRAMA PARA LA REALIZACIÓN DE FALLA DE LAS PROBETAS

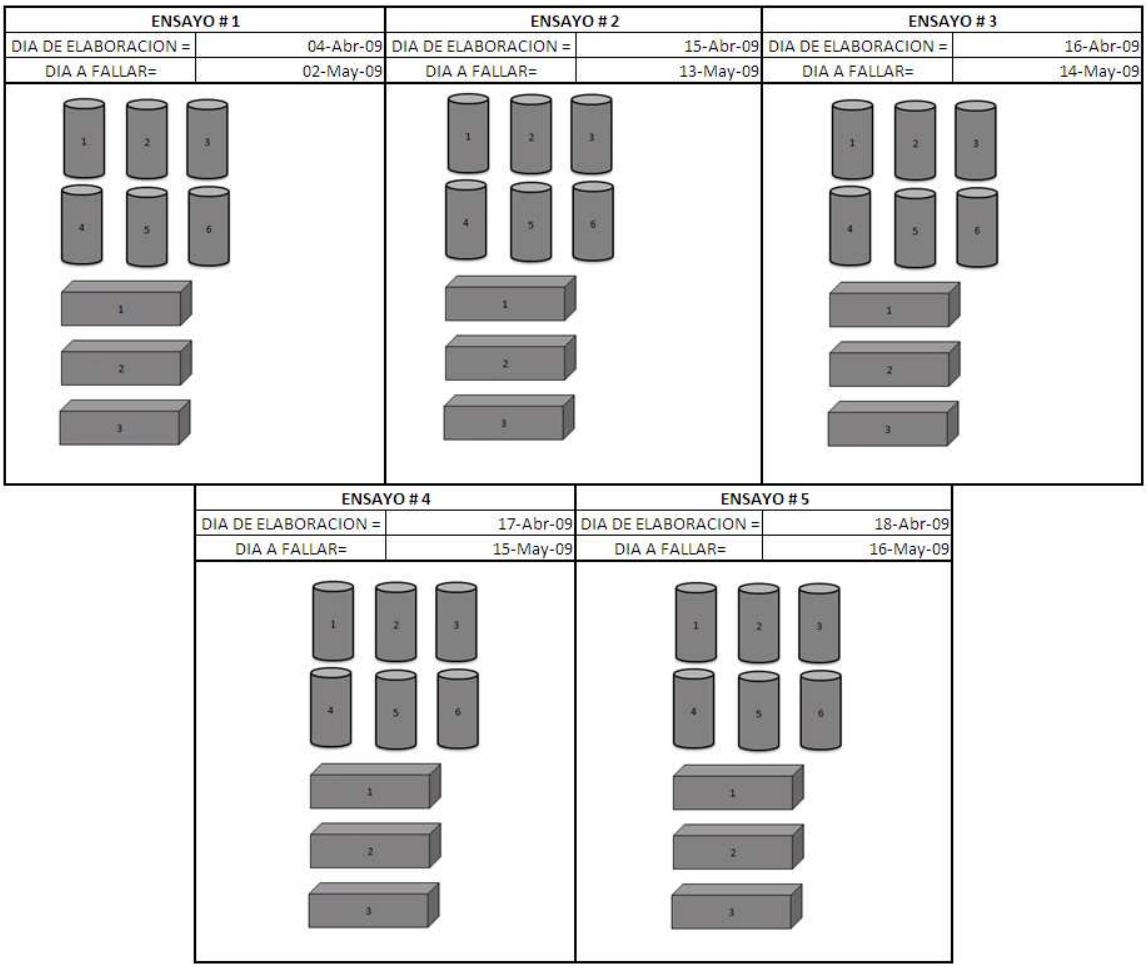
8.1.1. Dosificaciones

Estas fueron planteadas por el asesor temático, teniendo en cuenta que son las más frecuentes en el medio

8.1.2. Cronograma

El cronograma está diseñado para que todas las probetas se fallen con una madurez del concreto de 28 días ya que a esta edad el concreto tiene como mínimo el 85% de su resistencia total, durante este periodo las probetas quedan almacenadas en un estanque con agua, el cual cumple la función del curado del hormigón

Figura 13. Cronograma de elementos a fallar



8.2. PROCEDIMIENTOS O PAUTAS A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

8.2.1. Elementos usados para la ejecución de la práctica.

- Concretadora de un saco
- Formaleta
- Balanza
- Palas
- Barra de 5/8 lisa
- Chipote
- Flexometro
- Coche
- Máquina automática E.L.E. ADR1000
- Elementos diseñados para la aplicación de fuerza

8.2.2. Diseño de mezclas.

Para estos ensayo se tomaron 5 diseños de mezclas predeterminados por el asesor

8.2.3. Preparación de las probetas o elementos a fallar.

- Preparación de la mezcla: se realizo por medio de una concretadora de capacidad de un saco, los materiales fueron echados en el siguiente orden triturado, arena, cemento, agua con aditivo acelerante.

- Preparación y construcción de la probeta: la formaleta del elemento fue engrasada previamente para cumplir la función de desmoldante; El material que se usará en la elaboración del probetas para el ensayo, deberá ser muestreado, justo antes de su colocación en la formaleta o molde. la probeta se vacía en tres capas ,y en cada capa se le dan 25 golpes con una varilla 5/8 lisa ,luego se enraza lo misma varilla y se espera el fraguado

Figura 14. Formaletas para cilindros de hormigón

- Fraguado: el fraguado es el tiempo que tarda el concreto en endurecerse, en este ensayo se uso un aditivo acelerante el cual permitía el fraguado en tan solo 2 horas.

Figura 15. Fraguado de Cilindros

- Desencofre: el desencofre es el retirar el elemento de concreto de formaleta con ayuda de un chipote este proceso se realizo cuando el concreto fraguo

Figura 16. Desencofre

- Almacenamiento de las probetas: Los ensayos fueron planteados para ser fallados a la edad de 28 dias ,su almacenamiento durante este periodo se hizo en un tanque de agua con todas las C 192 ,se debe tener en cuenta que los cilindros se deben almacenar parados

Figura 17. Curado y almacenamiento de los cilindros

8.2.4. Pasos previos a la fallar.

- Lavado y marcado de cilindros: Se sacan los cilindros del estanque y se lavan para retirar los residuos calcáreos.

Figura 18. Lavado y marcado de cilindros

- Propiedades físicas y geométricas: se pesan (Kg) y se miden(cm) teniendo en cuenta tres medidas en cada dimensión y de esta manera obtener un promedio

Figura 19. Registro de propiedades físicas y geométricas de los cilindros

8.2.5 Montajes y proceso de falla de los ensayos de tracción indirecta y resistencia a la compresión

- Montaje del ensayo: se montan las platinas diseñadas y el elemento en el centro de esta

Figura 20. Montaje del ensayo de tracción indirecta

- Proceso de falla de cilindros: se le aplica una fuerza que aumenta de forma gradual hasta que el elemento falle, cuando el elemento falla la maquina toma el registro de manera automática la fuerza máxima

Figura 21. Cilindro fallado

8.2.6.Cálculos y resultados de los ensayos de tracción indirecta y resistencia a la flexión

Tabla 1. Ensayo # 1 Tracción indirecta y compresión

ENSAYO DE CILINDROS # 1

CILINDRO	PESO (kg)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1	13,45	30,20	30,40	30,80	30,47	15,00	14,80	14,90	14,90	209,00		28
2	13,27	30,50	30,70	30,50	30,57	15,40	15,30	15,60	15,43	201,40		28
3	13,36	30,70	30,90	30,70	30,77	15,15	15,20	15,00	15,12	205,20		28
4	13,30	30,70	30,80	30,60	30,70	15,10	15,20	15,30	15,20		506,10	28
5	13,43	30,60	30,50	30,70	30,60	14,95	15,00	15,00	14,98		498,10	28
6	13,22	30,80	30,70	30,90	30,80	15,38	15,25	15,60	15,41		499,90	28

ENSAYO TRACCION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1	30,47	14,90	209,00	20900,00	**29,31**
2	30,57	15,43	201,40	20140,00	**27,18**
3	30,77	15,12	205,20	20520,00	**28,09**

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)

f`c trac	28,192	Kg/cm2

CHEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c
26,60	**28,19**	30,93

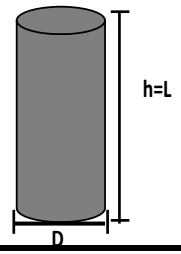
ENSAYO COMPRESION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4	30,70	15,20	506,10	50610,00	**278,91**
5	30,60	14,98	498,10	49810,00	**282,49**
6	30,80	15,41	499,90	49990,00	**268,03**

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)



f`c comp	276,478	Kg/cm2

Tabla 2. Ensayo # 2 Tracción indirecta y compresión

ENSAYO DE CILINDROS # 2

CILINDRO	PESO (kg)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1	13,08	30,50	30,60	30,40	30,50	15,00	15,30	14,90	15,07	194,30		28
2	13,10	31,00	30,80	30,40	30,73	15,12	14,90	15,10	15,04	196,40		28
3	13,28	29,90	30,70	30,30	30,30	14,80	14,78	15,05	14,88	192,20		28
4	13,26	30,30	30,55	30,80	30,55	15,00	15,30	14,90	15,07		449,70	28
5	13,10	30,30	30,50	30,50	30,43	15,00	14,90	15,00	14,97		454,30	28
6	13,42	30,60	30,70	30,70	30,67	15,10	14,90	14,90	14,97		443,90	28

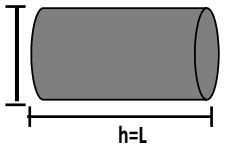
ENSAYO TRACCION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1	30,50	15,07	194,30	19430,00	**26,92**
2	30,73	15,04	196,40	19640,00	**27,05**
3	30,30	14,88	192,20	19220,00	**27,14**

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)



f`c trac	27,037	Kg/cm2

CHEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c
25,51	**27,04**	29,66

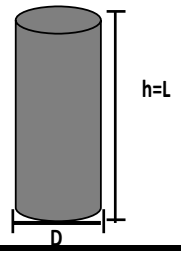
ENSAYO COMPRESION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4	30,55	15,07	449,70	44970,00	**252,23**
5	30,43	14,97	454,30	45430,00	**258,23**
6	30,67	14,97	443,90	44390,00	**252,32**

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)



f`c comp	254,258	Kg/cm2

Tabla 3. Ensayo # 3 Tracción indirecta y compresión

ENSAYO DE CILINDROS # 3

CILINDRO	PESO (kg)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1	13,08	30,40	30,60	30,35	30,45	15,20	15,10	15,00	15,10	153,20		28
2	13,32	30,63	30,90	30,60	30,71	15,00	15,05	15,40	15,15	150,30		28
3	13,20	30,70	30,40	30,65	30,58	15,12	15,14	15,13	15,13	151,75		28
4	12,74	30,30	30,45	30,15	30,30	15,00	15,00	15,01	15,00		285,50	28
5	12,62	30,20	30,30	29,92	30,14	14,86	14,97	15,00	14,94		275,55	28
6	12,50	30,05	29,90	30,00	29,98	14,90	14,90	15,00	14,93		265,60	28

ENSAYO TRACCION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1	30,45	15,10	153,20	15320,00	**21,21**
2	30,71	15,15	150,30	15030,00	**20,57**
3	30,58	15,13	151,75	15175,00	**20,88**

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)

D

h=L

f`c trac	20,885	Kg/cm2

CHEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c
20,03	**20,89**	23,29

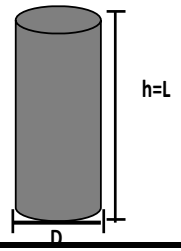
ENSAYO COMPRESION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4	30,30	15,00	285,50	28550,00	**161,49**
5	30,14	14,94	275,55	27555,00	**157,11**
6	29,98	14,93	265,60	26560,00	**151,64**

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)



f`c comp	156,749	Kg/cm2

Tabla 4. Ensayo # 4 Tracción indirecta y compresión

ENSAYO DE CILINDROS # 4

CILINDRO	PESO (kg)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1	12,92	30,35	30,60	30,10	30,35	15,00	15,00	15,00	15,00	182,60		28
2	13,18	30,93	30,90	30,70	30,84	15,20	15,20	14,90	15,10	207,10		28
3	13,06	30,80	30,65	30,35	30,60	15,05	15,00	15,10	15,05	194,85		28
4	13,28	30,50	30,40	30,61	30,50	15,00	15,15	15,30	15,15		427,00	28
5	13,40	30,75	30,90	30,60	30,75	15,10	15,10	15,09	15,10		425,40	28
6	13,32	30,60	30,40	30,90	30,63	15,32	14,98	15,00	15,10		426,20	28

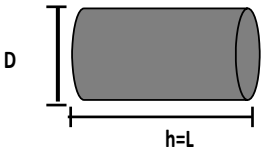
ENSAYO TRACCION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1	30,35	15,00	182,60	18260,00	**25,53**
2	30,84	15,10	207,10	20710,00	**28,31**
3	30,60	15,05	194,85	19485,00	**26,94**

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)



f`c trac	26,926	Kg/cm2

CHEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c
24,66	**26,93**	28,66

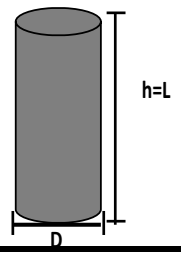
ENSAYO COMPRESION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4	30,50	15,15	427,00	42700,00	**236,87**
5	30,75	15,10	425,40	42540,00	**237,65**
6	30,63	15,10	426,20	42620,00	**238,00**

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)



f`c comp	237,507	Kg/cm2

Tabla 5. Ensayo # 5 Tracción indirecta y compresión

ENSAYO DE CILINDROS # 5

CILINDRO	PESO (kg)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1	13,46	30,70	30,53	30,56	30,60	15,40	15,30	15,50	15,40	185,40		28
2	13,10	30,50	30,60	30,40	30,50	15,50	15,80	15,49	15,60	149,10		28
3	13,24	30,55	30,70	30,40	30,55	15,50	15,53	15,48	15,50	168,56		28
4	13,40	30,00	30,20	30,15	30,12	15,00	15,10	14,85	14,98		327,10	28
5	13,20	30,20	30,15	30,20	30,18	15,10	15,40	15,15	15,22		333,50	28
6	13,03	30,40	30,30	30,07	30,26	15,20	15,10	15,00	15,10		340,20	28

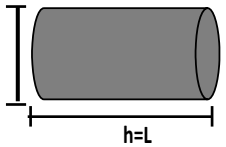
ENSAYO TRACCION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1	30,60	15,40	185,40	18540,00	**25,05**
2	30,50	15,60	149,10	14910,00	**19,95**
3	30,55	15,50	168,56	16856,00	**22,66**

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)



f`c trac	22,553	Kg/cm2

CHEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c
21,84	**22,55**	25,39

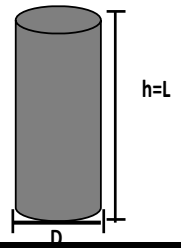
ENSAYO COMPRESION

CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4	30,12	14,98	327,10	32710,00	**185,51**
5	30,18	15,22	333,50	33350,00	**183,39**
6	30,26	15,10	340,20	34020,00	**189,97**

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)



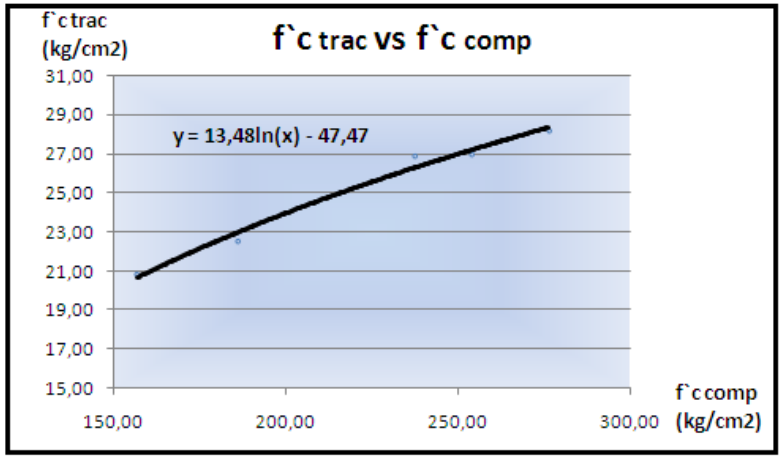
f`c comp	186,290	Kg/cm2

8.2.7. Curvas obtenidas como resultados de los ensayos de tracción indirecta vs resistencia a la flexión

Tabla 6. Resumen de resultados para grafico de correlacion del f`c trac

MUESTRA	f`c comp (Kg/cm2)	f`c trac (Kg/cm2)
1	156,75	20,89
2	186,29	22,55
3	237,51	26,93
4	254,26	27,04
5	276,48	28,19

Figura 22. Curva de correlacion entre f`c traccion vs f`c comp



8.3 PROCEDIMIENTOS O PAUTAS A TENER EN CUENTA PARA LA ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

8.3.1Elementos usados para la ejecución de la practica

- Concretadora de un saco
- Formaleta
- Balanza
- Palas
- Chipote
- Flexo metro
- Coche
- Máquina automática E.L.E ADR1000
- Elementos diseñados para la aplicación de fuerza

8.3.2Diseño de mezclas

Para estos ensayo se tomaron 5 diseños de mezclas predeterminados por el asesor

8.3.3. Preparación de las viguetas a fallar

- Preparación de la mezcla :se realizo por medio de una concretadora de capacidad de un saco, los materiales fueron vertidos en el siguiente orden triturado, arena, cemento, agua con aditivo acelerante

- Preparación y construcción de la probeta: la formaleta de la vigueta fue engrasada previamente para cumplir la función de desmoldante; El material que se usará en la elaboración del probetas para el ensayo, deberá ser

muestreado, justo antes de su colocación en la formaleta o molde ,luego se espera a que frague

Figura 23. Formaletas para vigas de hormigón

- Fraguado :el fraguado es el tiempo que tarda el concreto en endurecerse, en este ensayo se uso un aditivo acelerante el cual permitía el fraguado en tan solo 2 horas

Figura 24. fraguado de vigas

- Desencofre: el desencofre es el retirar el elemento de concreto de formaleta con ayuda de un chipote, este proceso se realiza cuando el concreto a fraguado

Figura 25. desencofre

- Almacenamiento de las probetas: Los ensayos fueron planteados para ser fallados a la edad de 28 días, su almacenamiento durante este periodo se hizo en un tanque de agua con todas las C 192, se debe tener en cuenta que los cilindros se deben almacenara parados

Figura 26. Curado y almacenamiento de las vigas

8.3.4 Pasos previos para fallar

- Lavado y marcado de viguetas: Se sacan las vigas del estanque y se lavan para retirar los residuos de calcáreos, y se tiene en cuenta que no transcurra mas de 15 minutos para ser falladas ya que esto es una variable muy importante para el ensayo

Figura 27. Lavado y marcado de vigas

- Propiedades físicas y geométricas: se pesan (Kg) y se miden (cm) teniendo en cuenta tres medidas en cada dimensión y de esta manera obtener un promedio

Figura 28. Registro de propiedades físicas y geométricas de las vigas

8.3.5 Montajes y proceso de falla del ensayo de modulo de rotura

- Montaje Del Ensayo: se montan las platinas diseñadas y el elemento en el centro de estas, como muestra la figura

Figura 29. Montaje del ensayo de modulo de rotura

- Proceso de falla de cilindros: se le aplica una fuerza que aumenta de forma gradual hasta que el elemento falle, cuando el elemento falla la maquina toma el registro de manera automática la fuerza máxima

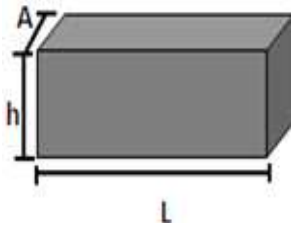
Figura 30. Viga fallada

8.3.6. Cálculos y resultados del ensayo de modulo de rotura

Tabla 7. Ensayo # 1 Modulo de rotura.

ENSAYO DE VIGAS # 1

VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A (cm) Promedio	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1	28	50,4	50,05	50	50,15	15,2	15,4	15,1	15,23	15,33	15,70	15,65	15,56	29,5
2	28,14	50,3	50,4	50,5	50,40	15,5	15,25	15,9	15,55	15,7	15,35	15,8	15,62	26,3
3	28,08	50,5	50,3	50,4	50,40	15,7	15,37	15,1	15,39	15,65	15,60	15,50	15,58	27,9



VIGA	L (cm) Promedio	A (cm) Promedio	h (cm) Promedio	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1	50,15	15,23	15,56	29,5	2950	**40,11**	24657,08
2	50,40	15,55	15,62	26,3	2630	**34,95**	22092,00
3	50,40	15,39	15,58	27,9	2790	**37,62**	23436,00

MODULO DE ROTURA

Ecuacion $Mr=(P*L)/(b*h^2)$

MOMENTO DE ROTURA

Ecuacion $M=(P/2)*L/3$

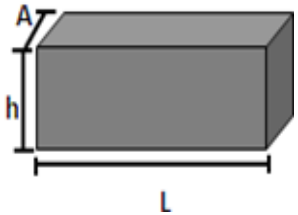
Mr	37,56	Kg/cm2
M	23395	Kg-cm

CHEQUEO **12%F`c < Mr< 24%F`c**			
12% comp	Mr	24% comp	cumple
33,18	37,56	66,35	VERDADERO

Tabla 8. Ensayo # 2 Modulo de rotura.

ENSAYO DE VIGAS # 2

VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A_1 (cm)	A_2 (cm)	A_3 (cm)	A (cm)Promedio	h_1 (cm)	h_2 (cm)	h_3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1	28,72	50,4	50	50,05	50,15	15	15,25	14,9	15,05	15,70	15,70	15,55	15,65	28,6
2	28,18	50,8	50,4	50,6	50,60	15,9	15,85	15,8	15,85	15,2	15,4	15,3	15,30	26
3	28,47	50,1	50,2	50,85	50,38	15,6	15,4	15,35	15,45	15,30	15,60	15,55	15,48	27,3



VIGA	L (cm) Pro	A (cm)Pro	h (cm) Pro	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1	50,15	15,05	15,65	28,6	2860	**38,91**	23904,83
2	50,60	15,85	15,30	26	2600	**35,46**	21926,67
3	50,38	15,45	15,48	27,3	2730	**37,14**	22924,42

MODULO DE ROTURA

Ecuacion $Mr=(P*L)/(b*h^2)$

MOMENTO DE ROTURA

Ecuacion $M=(P/2)*L/3$

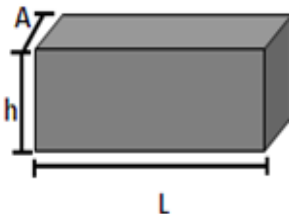
Mr	37,17	Kg/cm2
M	22919	Kg-cm

CHEQUEO **12%F`c < Mr< 24%F`c**			
12% comp	Mr	24% comp	cumple
30,51	37,17	61,02	VERDADERO

Tabla 9. Ensayo # 3 Modulo de rotura.

ENSAYO DE VIGAS # 3

VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A (cm)Promedio	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1	28,16	50,2	50,4	50,6	50,40	15,5	15,45	15,55	15,50	15,58	15,58	15,65	15,60	21,1
2	28,56	50,3	50,3	50	50,20	15,3	15,6	15	15,30	15,3	15,1	15,2	15,20	22,6
3	28,39	50,4	50,5	50	50,30	15,3	15,3	15,6	15,40	15,30	15,30	15,60	15,40	21,85



VIGA	L (cm) Pro	A (cm)Pro	h (cm) Pro	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1	50,40	15,50	15,60	21,1	2110	**28,18**	17724,00
2	50,20	15,30	15,20	22,6	2260	**32,09**	18908,67
3	50,30	15,40	15,40	21,85	2185	**30,09**	18317,58

MODULO DE ROTURA

Ecuacion $Mr=(P*L)/(b*h^2)$

MOMENTO DE ROTURA

Ecuacion $M=(P/2)*L/3$

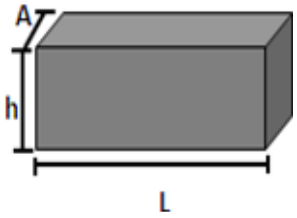
Mr	30,12	Kg/cm2
M	18317	Kg-cm

CHEQUEO **12%F`c < Mr< 24%F`c**			
12% comp	Mr	24% comp	cumple
18,81	30,12	37,62	VERDADERO

Tabla 10. Ensayo # 4 Modulo de rotura

ENSAYO DE VIGAS # 4

VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A (cm)Promedio	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1	28,28	51	49,95	50,55	50,50	15,6	15,5	15,4	15,50	15,60	15,70	15,50	15,60	29,2
2	27,74	50,5	50,1	50	50,20	15,35	15,3	15,1	15,25	15,75	15,8	15,7	15,75	26,2
3	28,01	50,15	50,4	50,5	50,35	15,7	15,45	15	15,38	15,60	15,75	15,65	15,67	27,7



VIGA	L (cm) Pro	A (cm)Pro	h (cm) Pro	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1	50,50	15,50	15,60	29,2	2920	**39,09**	24576,67
2	50,20	15,25	15,75	26,2	2620	**34,77**	21920,67
3	50,35	15,38	15,67	27,7	2770	**36,94**	23244,92

MODULO DE ROTURA

Ecuacion $Mr=(P*L)/(b*h^2)$

MOMENTO DE ROTURA

Ecuacion $M=(P/2)*L/3$

Mr	36,93	Kg/cm2
M	23247	Kg-cm

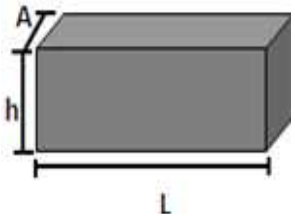
CHEQUEO **12%F`c < Mr< 24%F`c**			
12% comp	Mr	24% comp	cumple
28,50	36,93	57,00	VERDADERO

.

Tabla 11. Ensayo # 5 Modulo de rotura.

ENSAYO DE VIGAS # 5

VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A (cm)Promedio	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1	27,06	50,2	50,3	50,1	50,20	15,2	15,5	15,55	15,42	15,10	15,40	15,15	15,22	23,6
2	27,54	50,8	51,1	51,4	51,10	15,3	15,6	15	15,30	14,8	14,75	15	14,85	24,9
3	27,54	50,9	51,1	51,45	51,15	15,4	15,3	15,3	15,33	15,00	15,05	15,00	15,02	24,25



VIGA	L (cm) Pro	A (cm)Pro	h (cm) Pro	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1	50,20	15,42	15,22	23,6	2360	**33,19**	19745,33
2	51,10	15,30	14,85	24,9	2490	**37,71**	21206,50
3	51,15	15,33	15,02	24,25	2425	**35,87**	20673,13

MODULO DE ROTURA

Ecuacion $Mr=(P*L)/(b*h^2)$

MOMENTO DE ROTURA

Ecuacion $M=(P/2)*L/3$

Mr	35,59	**Kg/cm2**
M	20542	**Kg-cm**

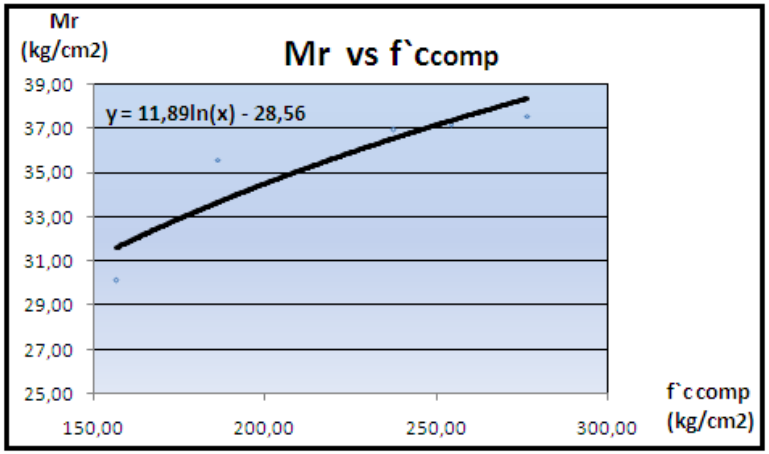
CHEQUEO **12%F`c < Mr< 24%F`c**			
12% comp	Mr	24% comp	cumple
22,35	35,59	44,71	VERDADERO

8.3.7. Curvas obtenidas como resultados de los ensayos de modulo de rotura vs resistencia a la flexión

Tabla 12. Resumen de resultados para grafico de correlación del Mr

MUESTRA	f`c comp (Kg/cm2)	Mr (Kg/cm2)
1	156,75	30,12
2	186,29	35,59
3	237,51	36,93
4	254,26	37,17
5	276,48	37,56

Figura 31. Curva de correlación entre Mr vs f`c comp



8.4. PROCEDIMIENTO, GUIA GRAFICA Y FORMATOS PARA LA ELABORACION DE LOS ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA Y MODULO DE ROTURA

8.4.1 Ensayo a tracción indirecta y resistencia a la compresión

- Procedimiento para tracción:

  - Remueva un cilindro del tanque y seque la superficie.

  - Mida las dimensiones del cilindro. Dibuje una línea diametral a cada lado de la muestra en el mismo plano axial y únalas con la regla.

  - Coloque el cilindro en el aparato de prueba en traccion y centralícelo en la máquina de prueba. Ajuste el cabezal hasta que esté en contacto con el tope del aparato.

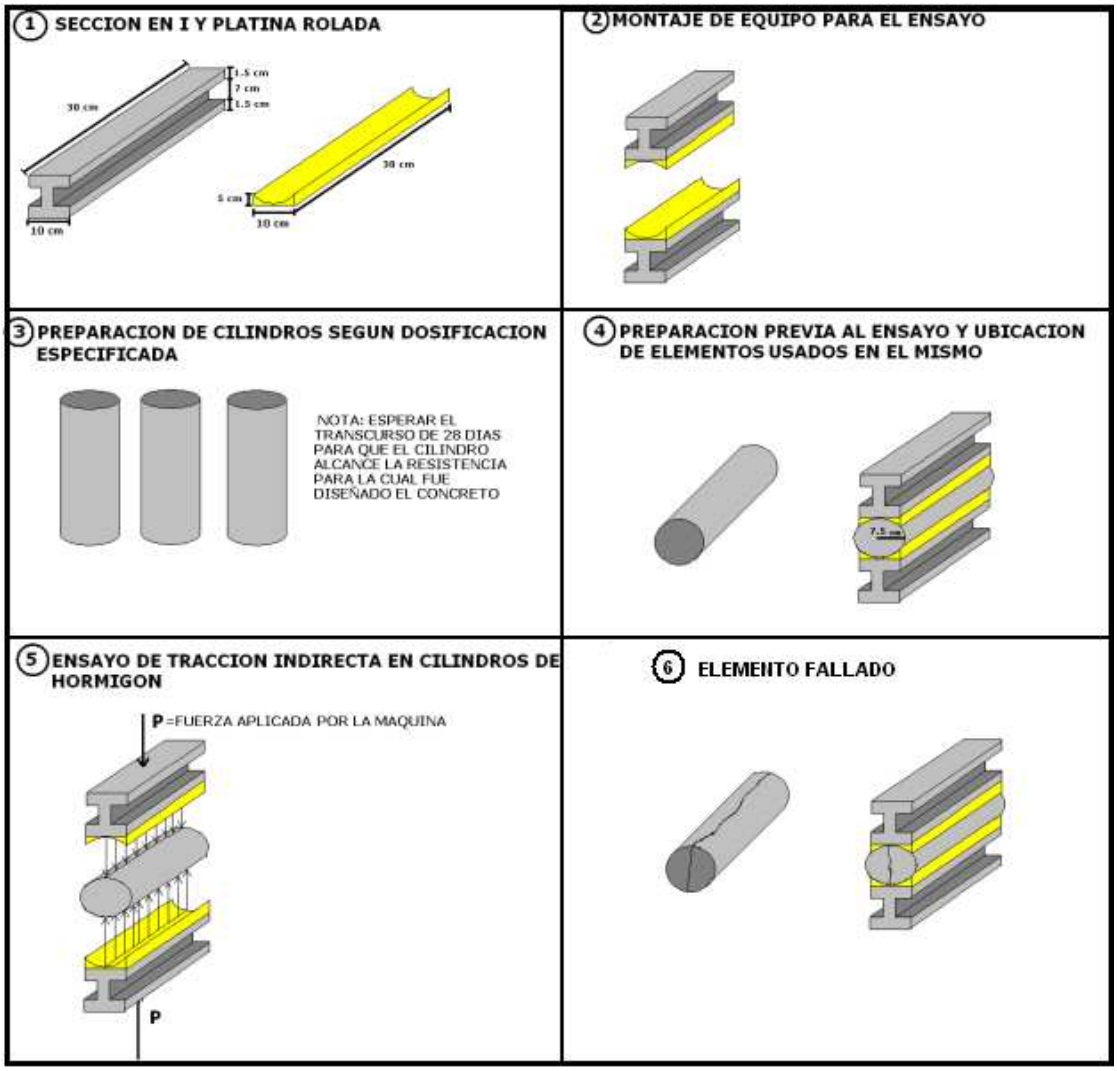
  - Aplique la carga compresiva lenta y continuamente hasta la falla.

  - Calcule la resistencia a traccion $T = 2P/(\pi LD)$, donde P = carga máxima, L = largo del cilindro = 12" y D = diámetro del cilindro = 6".

  - Complete la información solicitada en el formato

- Guía grafica para la elaboración del ensayo de tracción indirecta

Figura 32. Guía grafica de la resistencia a la tracción



- Formato para la elaboración del ensayo de tracción indirecta y resistencia a la compresión

Tabla 13. Formato para la recolección de datos de la resistencia a la traccion

ENSAYO DE CILINDROS #												
CILINDRO	PESO (kg)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pc (KN)	EDAD (dias)
1												
2												
3												
4												
5												
6												

ENSAYO TRACCION					
CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pf (KN)	Pf (kg)	σtrac (Kg/cm2)
1					
2					
3					

RESISTENCIA A LA TRACCION

Ecuacion

f`c trac= (2P)/(π*L*d)

D

h=L

f`c trac		Kg/cm2

HEQUEO 1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F		
1,60√F`c	f`c trac	1,86 √F`c

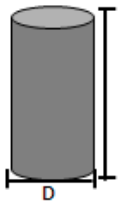
ENSAYO COMPRESION					
CILINDRO	h (cm) Promedio	D (cm) Promedio	Pc (KN)	Pc (kg)	f`c comp (Kg/cm2)
4					
5					
6					

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Ecuacion f`c comp= P/A

f`c comp = (4P)/(π*D^2)

f`c comp		Kg/cm2



h=L

D

8.4.2. Ensayo de modulo de rotura

- Procedimiento para modulo de rotura

  - Remueva una viga del tanque y seque su superficie.

  - Mida las dimensiones de la viga.

  - Coloque la viga en el aparato de prueba en flexión y centralícelo en la máquina de prueba. Ajuste el cabezal hasta que esté en contacto con el tope del aparato.

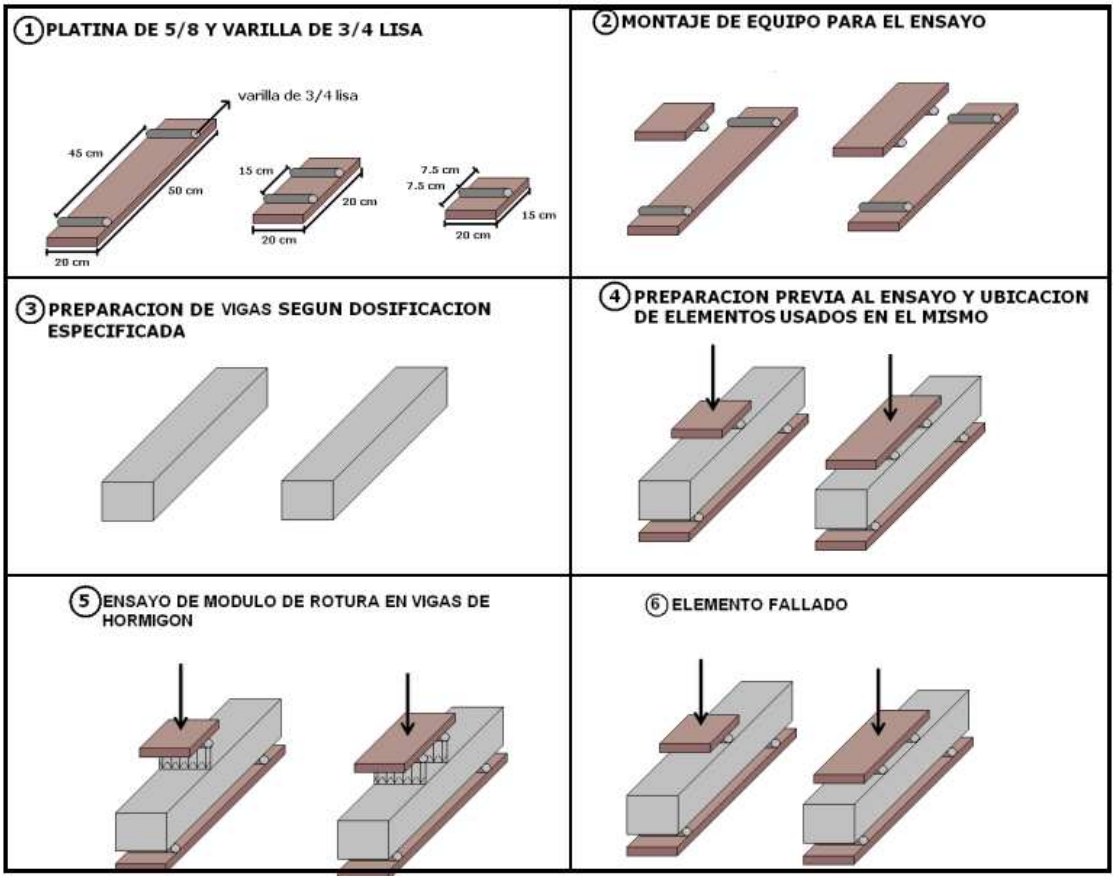
  - Aplique la carga lentamente hasta que falle la viga. Examine el tipo de falla. Anote la carga máxima en la hoja de datos.

  - Calcule el módulo de rotura (esfuerzo máximo en flexión), Mr = PL/(bd2), donde P = carga máxima, L = largo entre los soportes = 18", b = ancho y d = alto.

  - Complete la información solicitada en el formato

- Guía grafica para la elaboración del ensayo de modulo de rotura

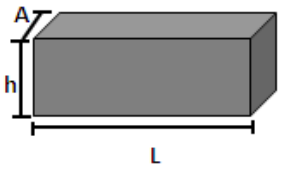
Figura 33. Guía grafica del modulo de rotura



- Formato para la elaboración del ensayo de modulo de rotura

Tabla 14. Formato para la recolección de datos de la resistencia al modulo de rotura

ENSAYO DE VIGAS #														
VIGA	PESO (kg)	L (cm)	L (cm)	L (cm)	L (cm) Promedio	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	A (cm) Promedio	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	h (cm) Promedio	P (KN)
1														
2														
3														



VIGA	L (cm) Promedio	A (cm) Promedio	h (cm) Promedio	P (KN)	P (Kg)	Mr (Kg/cm2)	M (Kg-cm)
1							
2							
3							

MODULO DE ROTURA	
Ecuacion	$Mr=(P*L)/(b*h^2)$
MOMENTO DE ROTURA	
Ecuacion	M=(P/2)*L/3

Mr		Kg/cm2
M		Kg-cm

CHEQUEO 12%F`c < Mr< 24%F`c			
12% comp	Mr	24% comp	cumple

CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo principal el cual era la adaptación de la maquinaria existente en el laboratorio de concretos para la realización de los ensayos, se anexan las formaletas de vigas y se diseñaron los elementos requeridos por la norma para la aplicación de cargas de manera correcta y precisa en cada elemento

Se logro establecer un documento guía para cada una de los ensayos de modulo de rotura y tracción indirecta; a los cuales también se les anexo un formato modelo para el registro de los datos a tener en cuenta y una guía grafica del procedimiento a seguir

Se hizo ensayos de prueba para verificar que los elementos estén funcionando correctamente por medio de 5 muestras diferentes, las cuales constan cada una de 9 probetas a fallar para un total de 45 probetas, el criterio que se tuvo en cuenta para el chequeo de los resultados en cada ensayo fue, en la resistencia a la tracción **1,60√F`c < f`c trac< 1,86 √F`c** y en la resistencia del modulo de rotura **12%F`c < Mr< 24%F`c** ; los resultados dieron dentro de estos rangos lo cual fue positivo.

De los graficos arrojados se pude concluir que existe una relación directa entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión lo cual indica que a mayor f`ccomp es mayor el Mr de igual manera pasa con la resistencia a la tracción a mayor f`ccomp mayor es el f`ctrac

Se realizo unas graficas de relaciones para adoptarla como referencia de posibles resultados, por medio de los datos arrojados por los ensayos, las cuales tienen el

agravante que para realizar esta grafica se deben hacer una mayor proporción de ensayos para asi estas ser mas precisas y de mayor confiabilidad, sin embargo teniendo en cuenta que este trabajo estaba enfocado a la implementación de los ensayos de laboratorio mas no directamente a obtención de la grafica de correlación de las diversas resistencias se puede dar como positivo el trabajo realizado y las grafica guía obtenida aunque no sean de alta confiabilidad, a pesar de esto al hacer una comparación de la grafica arrojada por los resultados vs graficas ya existentes de otros ensayos se puede observar una gran coincidencia entre ambas ; se recomienda que en futuros trabajos de grados se tenga en cuenta una mayor cantidad de muestras a razón que existen factores que hacen oscilar lo resultado en un gran rango y seria de mucha importancia obtener estas graficas con resultados del laboratorio del politécnico colombiano Jaime Isaza Cadavid

BIBLIOGRAFÍA

J. CALAVERA– Dr. Ingeniero de Caminos– la pradera –2005– 165 p

Manual de simesa – simesa –2008 – 218 p

R. P. Lottman, R. P. Chen, K. S. Kumar and L. W. Wolf, – sistemas para la optimizacion de concretos – R. Kaswell – 1998 – 754 p

Richard C. Meininger and Norm Nelson – evaluation y aceptacion de mezclas de concreto – NMRCA Publication 178 – September 1991-124 p.

Roberto Rochel Awad – Hormigon Reforzado –Mc Grawn Hill–1993–286 p

Stanton Walker and D.L. – Estudios de la fuerza a flexión del concreto - NMRCA publicacion No. 75 Part 3 – 1991-103 p.

Steve Kosmatka – compresion vs flexion para el control de calidad de los concretos–Portland Cement Association – 1985 – 687 p

W. Charles Greer Jr – Pruebas de laboratorios de concretos para el análisis de la variación de fuerzas a flexion –Winter – 1983 – 589 p.

ANEXOS

Anexo A. Tablas de platinas comerciales

Platinas

MEDIDAS	Kg./m	Kg./ 6m
1/8 x 1/2	0.32	1.92
1/8 x 5/8	0.40	2.40
1/8 x 3/4	0.48	2.88
1/8 x 1	0.63	3.78
1/8 x 1.1/4	0.79	4.74
1/8 x 1.1/2	0.95	5.70
1/8 x 2	1.27	7.62
1/8 x 2.1/2	1.58	9.48
1/8 x 3	1.90	11.40
3/16 x 1/2	0.48	2.88
3/16 x 5/8	0.60	3.60
3/16 x 3/4	0.71	4.26
3/16 x 1	0.95	5.70
3/16 x 1.1/4	1.19	7.14
3/16 x 1.1/2	1.43	8.58
3/16 x 2	1.90	11.40
3/16 x 2.1/2	2.38	14.28
3/16 x 3	2.85	17.10
3/16 x 4	3.80	22.80
1/4 x 1/2	0.64	3.84
1/4 x 5/8	0.79	4.74

MEDIDAS	kg/m	kg./ 6m
1/4 x 3/4	0.95	5.70
1/4 x 1	1.27	7.62
1/4 x 1.1/4	1.59	9.54
1/4 x 1.1/2	1.90	11.40
1/4 x 2	2.53	15.18
1/4 x 2.1/2	3.17	19.02
1/4 x 3	3.80	22.80
1/4 x 4	5.07	30.42
3/8 x 1	1.90	11.40
3/8 x 1.1/2	2.85	17.10
3/8 x 2	3.80	22.80
3/8 x 2.1/2	4.75	28.50
3/8 x 3	5.70	34.20
3/8 x 4	7.60	45.60
1/2 x 1	2.53	15.18
1/2 x 1.1/2	3.80	22.80
1/2 x 2	5.07	30.42
1/2 x 2.1/2	6.33	37.98
1/2 x 3	7.60	45.60
1/2 x 4	10.13	60.78
1/2 x 5	12.66	75.96
1/2 x 6	15.20	91.20

Anexo B. Especificaciones de las barras lisas

BARRAS LISAS

Propiedades mecánicas (NTC-161)

		AH-22	AH-24	AH-28
Resistencia a la fluencia	Mínimo (kgf/mm²)	22	24	28
	Máximo (kgf/mm²)	55	55	55
Resistencia a la tracción	Mínimo (kgf/mm²)	34	37	49
Porcentaje de alargamiento en 200 mm		20	18	11

Dimensiones y peso

No.	Diámetro en pulgadas	Diámetro en mm	Peso teórico (kg/m)
		10.50	0.680
		12.00	0.887
4	1/2		0.994
5	5/8		1.552
6	3/4		2.237
7	7/8		3.045
8	1		3.973

Anexo C. Tipos de perfiles y dimensiones comerciales

Perfiles I Estandar Americano - S

Dimensiones y propiedades para el diseño

Designación	Altura h	Altura t_w	Ala b_f	Ala t_f	h	Área	Peso	Propiedades elásticas Eje X - X Ix	Sx	rx	Eje Y - Y Iy	Sy	ry	Módulo plástico Zx	Zy	Constantes Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	cm^2	kg/m	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^3	cm^4
S 4 x 7.7	102,00	4,90	67,64	7,44	64,00	14,60	11,50	253,00	49,80	4,17	31,80	9,40	1,48	57,32	15,80	2,91
S 6 x 12.5	152,00	5,89	84,63	9,12	108,00	23,70	18,60	920,00	120,8	6,22	75,75	17,90	1,79	138,80	30,32	7,08

Vigas I estandar Europeo - IPN

Perfiles IPN dimensiones y propiedades para el diseño

Designación	Dimensiones Altura h	Altura t_w	Ala b_f	Ala t_f	Distancias h	Área	Peso	Propiedades elásticas EJE X - X Ix	Sx	rx	EJE Y - Y Iy	Sy	ry	Módulo plástico Zx	Zy	Constantes Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	cm^2	kg/m	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^3	cm^4
IPN 100	100,00	4,50	50,00	6,80	75	10,60	8,34	171,00	34,20	4,01	12,20	4,88	1,07	39,80	8,09	1,60
IPN 160	160,00	6,30	74,00	9,50	125	22,80	17,90	935,00	117,00	6,40	54,70	14,80	1,55	136,00	24,90	6,57
IPN 200	200,00	7,50	90,00	11,30	159	33,40	26,20	2140,00	214,00	8,00	117,00	26,00	1,87	250,00	43,50	13,50
IPN 260	260,00	9,40	113,00	14,10	208	53,30	41,90	5740,00	442,00	10,40	288,00	51,00	2,32	514,00	85,90	33,50
IPN 300	300,00	10,80	125,00	16,20	241	69,00	54,20	9800,00	653,00	11,90	451,00	72,20	2,56	762,00	121,00	56,80
IPN 360	360,00	13,00	143,00	19,50	290	97,00	76,10	19610,00	1090,00	14,20	818,00	114,00	2,90	1276,00	194,00	115,00

IPE

DESIGNACION	Peso (kg/m)	h (mm)	bf (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ix (cm4)	Iy (cm4)	Sx (cm3)	Zx (cm3)
IPE600	122	600	220	12	19	92080	3387	3069.3	3376.1
IPE 550	106	550	210	11.1	17.2	67120	2670	2440.7	2662.2
IPE 500	90.7	500	200	10.2	16	48200	2140	1928.	2107.3
IPE 450	77.6	450	190	9.4	14.6	33740	1680	1499.6	1623.9
IPE 400	66.3	400	180	8.6	13.5	23120	1320	1156.	1238.3
IPE 360	57.1	360	170	8	12.7	16270	1040	903.9	973.7
IPE 330	49.1	330	160	7.5	11.5	11770	788	713.3	762.8
IPE 300	42.2	300	150	7.1	10.7	8360	604	557.3	602.1
IPE 270	36.1	270	135	6.6	10.2	5790	420	428.9	460.5
IPE 240	30.7	240	120	6.2	9.8	3890	284	324.2	346.
IPE 220	26.2	220	110	5.9	9.2	2770	205	251.8	273.3
IPE 200	22.4	200	100	5.6	8.5	1940	142	194.	209.7
IPE 180	18.8	180	91	5.3	8	1320	101	146.7	160.9
IPE 160	15.8	160	82	5	7.4	869	68.3	108.6	119.
IPE 140	12.9	140	73	4.7	6.9	541	44.9	77.3	85.8
IPE 120	10.4	120	64	4.4	6.3	318	27.7	53.	58.5
IPE 100	8.1	100	55	4.1	5.7	171	15.9	34.2	37.6
IPE 80	6	80	46	3.8	5.2	80.1	8.49	20.	22.5

Anexo D. Tipos y dimensiones comerciales de laminas roladas

	Limite elástico		Resistencia a la tracción		% de alargamiento
	(KSI)	(MPA)	(KSI) MIN-MAX	(MPA) MIN-MAX	
ASTM-36	36	250	58-80	400-550	20
ASTM A-131 GR A (espesor < 7 mm)	34	234	58 - 71	400 - 490	24
ASTM A-131 GR A (espesor >=7 mm)	34	234	58 - 71	400 - 490	24
ASTM A-131 GR C	34	235	58-71	400-490	21
ASTM A-283 GR C	30	205	55-75	380-515	22
ASTM A-285 GR C	30	205	55-75	380-515	23
ASTM A-516 GR 70	38	260	70-90	485-620	17
ASTM A-572 GR 50	50	345	65	450	20
ASTM A-588 GR B	50	345	70	485	18
ANTIABRASIVAS AA 400	DUREZA BRINEL 360 Min. 380-400 Typical				

	C MAX	Mn MIN-MAX	P MAX	S MAX	Si MIN-MAX	Cu MIN-MAX	N MAX	Ni MAX	Cr MIN-MAX	V MIN-MAX
ASTM-36	0.29	0.85-1.20	0.04	0.05	0.15-0.40	0.20*1				
ASTM A-131 GR A (espesor <7mm)	0.18	0.30 - 0.60	0.025	0.03	0.04	0.20				
ASTM A-131 GR A (espesor >=7mm)	0.18	0.60 - 0.90	0.015	0.015	0.10 - 0.30	0.20				
ASTM A-131 GR C	0.23		0.035	0.04						
ASTM A-283 GR C	0.24	0.90	0.035	0.04	0.15-0.40	0.20*1				
ASTM A-285 GR C	0.28	0.98	0.035	0.035						
ASTM A-516 GR 70	0.31	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40					
ASTM A-572 GR 50	0.23	1.35	0.04	0.05	0.15-0.40					
ASTM A-588 GR B	0.20	0.75-1.35	0.04	0.05	0.15-0.40	0.20-0.40		0.5	0.40-0.70	0.01-0.1
ANTIABRASIVAS AA400	0.20	1.60	0.03	0.03	0.55					