

VULNERABILIDAD DE TAPAS CIRCULARES Y
CUADRADAS DE CAMARAS Y CAJAS DE INSPECCION EN
REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

CARLOS HUMBERTO ARENAS GARCIA

Trabajo dirigido de grado presentado como requisito parcial
para optar al titulo de especialista en estructuras opción
análisis y diseño

Director: EFRAIN MEJIA RESTREPO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLIN

FACULTAD NACIONAL DE MINAS

MEDELLIN, 2001

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento.

A Efrain Mejía Restrepo. Profesor de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia seccional Manizales y Director de Trabajo dirigido de grado.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE FOTOS.....	x
RESUMEN.....	xi
1. INTRODUCCION.....	1
2. INSPECCION PRELIMINAR.....	3
2.1 INFORMACION DIRECTA.....	3
2.2 INFORMACION INDIRECTA.....	3
2.3 EXPERIENCIA LABORAL.....	3
2.4 EQUIPOS.....	4
2.5 REGISTRO DE DATOS.....	4
2.6 MEDICIONES DURANTE LA INSPECCION.....	4
2.7 MANUAL DE AUSCULTACION.....	5
3. REGISTRO FOTOGRAFICO.....	21
4. MARCO TEORICO ANALISIS DE TAPAS CUADRADAS Y CIRCULARES.....	27
4.1 VOLUMENES DE TRANSITO.....	27
4.2 CARGAS DE DISEÑO.....	28

4.3	FACTOR DE INPACTO.....	28
4.4	VARIACION CAPACIDAD RESISTENTE.....	29
4.5	VARIACION CAPACIDAD DE SERVICIO.....	29
5.	ANALISIS DE PLACAS CIRCULARES Y CUADRADAS.....	30
5.1	DESCRIPCION DE LOS CASOS PARA ANALIZAR.....	30
5.1.1	CASO 1.....	30
5.1.2	CASO 2.....	30
5.1.3	CASO 3.....	31
5.1.4	CASO 4.....	32
5.1.5	CASO 5.....	32
5.2	SOLUCION DE ANALISIS DE LOS CASOS EN ESTUDIO.....	37
6.	MECANISMOS DE FALLA.....	39
6.1	RESISTENCIA DEL HORMIGON.....	39
6.2	ESTADOS LIMITES DE SERVICIO.....	40
6.2.1	FISURACION.....	40
6.2.2	CONTROL DE DEFORMACIONES.....	41
6.2.3	VIBRACIONES.....	41
6.3	ESTADOS LIMITES ULTIMOS.....	41
6.3.1	FLEXION SIMPLE.....	41
6.3.2	CORTANTE.....	42
6.3.3	ADHERENCIA.....	42
7.	REVISION ESTADOS LIMITES DE SERVICIO Y ESTADOS LIMITES ULTIMOS.....	43
7.1	REVISION ESTADOS LIMITES DE SERVICIO.....	43

7.2	REVISION ESTADOS LIMITES ULTIMOS.....	45
7.2.1	CASO 1.....	45
7.2.1.1	FLEXION.....	45
7.2.1.2	CORTANTE.....	46
7.2.1.3	ADHERENCIA.....	46
7.2.2	CASO 2.....	47
7.2.2.1	FLEXION.....	47
7.2.2.2	CORTANTE.....	47
7.2.2.3	ADHERENCIA.....	48
7.2.3	CASO 3.....	48
7.2.3.1	FLEXION.....	48
7.2.3.2	CORTANTE.....	49
7.2.3.3	ADHERENCIA.....	49
7.2.4	CASO 4.....	50
7.2.4.1	FLEXION.....	50
7.2.4.2	CORTANTE.....	50
7.2.4.3	ADHERENCIA.....	51
7.2.5	CASO 5.....	51
7.2.5.1	FLEXION.....	51
7.2.5.2	CORTANTE.....	52
8.	DISENO.....	54
8.1	ANALISIS.....	54
8.2	CAMION DE DISEÑO.....	54
8.3	ANCLAJE.....	54
8.4	RESISTENCIA DE REFUERZO Y DEL CONCRETO.....	55
8.5	DISEÑO TAPA CASO 1.....	55
8.5.1	MOMENTO DE SERVICIO.....	55
8.5.2	DEFLEXIONES.....	55

8.5.3	FLEXION SIMPLE.....	55
8.5.4	CORTANTE.....	56
8.5.5	ADHERENCIA.....	56
8.6	DISEÑO TAPA CASO 2.....	57
8.6.1	MOMENTO DE SERVICIO.....	57
8.6.2	DEFLEXIONES.....	57
8.6.3	FLEXION SIMPLE.....	57
8.6.4	CORTANTE.....	58
8.6.5	ADHERENCIA.....	58
8.7	DISEÑO TAPA CASO 3.....	58
8.7.1	MOMENTO DE SERVICIO.....	58
8.7.2	DEFLEXIONES.....	59
8.7.3	FLEXION SIMPLE.....	59
8.7.4	CORTANTE.....	59
8.7.5	ADHERENCIA.....	59
9.	CONCLUSIONES.....	60
10.	RECOMENDACIONES.....	62
11.	BIBLIOGRAFIA.....	63
	ANEXO 1. Scrit en MABLAT modelo de la banda finita.....	65
	ANEXO 2. Solución en MATLAB placa circular con carga concentrada en el centro según la teoría de la elasticidad.....	70
	ANEXO 3. Scrit MATLAB de análisis de elementos de hormigón reforzado sometidos a flexión.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla

1.	Distribución del transito en el centro de Pereira	27
2.	Distribución del transito calle 40 carrera 7.....	28
3.	Resumen resultado análisis tapas para el camión H-20.....	38
4.	Comparación resultados momentos resistentes con momentos de servicio para el camión H-20.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura

1. Tapa de cámara de inspección especificaciones técnicas
Gobernación de Caldas31
2. Caja de inspección tomada de las especificaciones técnicas
generales de construcción de la Gobernación de Caldas.....33
3. Modelo de tapa para caja de válvula en calzada.....34
4. Modelo de tapa para la caja de válvula en zona verde.....35
5. Tapa de cámara de inspección de Aguas y Aguas de Pereira.....36

LISTA DE FOTOS

Foto

1.	Asentamiento caja de inspección.....	21
2.	Falla debida al desarrollo de palancas en esquina.....	22
3.	Falla por superación de limites de servicio.....	23
4.	Falla por sobrefuerzo.....	24
5.	Longitud de anclaje deficiente.....	25
6.	Desgaste por abrasión.....	26

RESUMEN

El estudio de vulnerabilidad de tapas circulares y cuadradas de cámaras y cajas de inspección cumplió con los objetivos propuesto donde se estudiaron los diferentes mecanismos de fallas, y donde por la teoría de elasticidad, Timochenko en su libro Placas y Cascaras demuestra que los esfuerzos y la deformada cuando las aberturas son pequeñas, tienen el mismo comportamiento de placas sin aberturas en el centro. Como estas tapas están sometidas a cargas móviles, se considera que el camión de diseño, para este tipo elementos debe ser el H-20, el cual cuenta con 15 t por eje, y que por experiencia tomadas de un Supervisor de Aguas y Aguas de Pereira, cuando estos elementos están sometidas a tráfico pesado se deben cambiar continuamente, y el desespero le a llevado a utilizar varillas de 3/4" porque con refuerzo de 5/8" los resultados fueron negativos.

En el desarrollo de la solución del problema se recogió información de las diferentes especificaciones de Empresas Publicas de la región, se hizo un muestreo de estado de las tapas en el centro de Pereira, se recogió información del comportamiento de estos elementos en Aguas y Aguas de Pereira, y se hizo un muestreo del flujo vehicular en el centro de Pereira. Con esta información obtenida se analizan las tapas en estudio por el método de la banda finita, y la teoría de la elasticidad; para obtener los momentos de servicio según el camión H-20. Con las especificaciones obtenemos los momentos resistentes de esto elementos, que aplicando de nuevo el método de la banda finita y la teoría de elasticidad por tanteos logramos conocer la carga que estos elementos puedan resistir en el centro.

Me parece que para este trabajo se debe resaltar la información obtenida en el muestreo del estado de las tapas, y las experiencias del supervisor de Aguas y Aguas, porque sin esta información el método de la banda finita o la teoría de la

elasticidad no hubieran sido suficientes para la solución de problema y las recomendaciones finales de este trabajo final.

La problemática de las tapas en estudio radica principalmente en los mecanismos de falla en estudio como son: la resistencia del concreto, estados limites de servicio y estados limites últimos.

- Resistencia del concreto. Estos elementos esta sujetos a la intemperie, a la abrasión, a la corrosión del refuerzo, por lo tanto se debe bajar la relación de agua/cemento, para ello y por lo expuesto en capítulos siguientes se recomienda que la resistencia del hormigón debe ser de 350 Kg./cm².
- Estados limites de servicio. En cuanto a la deflexión permisible por el NSR-98, el espesor de los elementos cumple con la norma, inclusive para el camión de diseño H-20, pero por criterios expuestos en el análisis de estados últimos se sugiere, para estos tipos de elementos tanto circulares como cuadrado con y sin aberturas, con una longitud que varíe entre 50 y 90 cm tengan un espesor de mínimo 12 cm
- Estados limites últimos. Para el camión de diseño H-20, estos elementos no cumplen a flexión y a cortante; reflejándose un problema en la adherencia del concreto con el refuerzo y en el bloque de esfuerzo a compresión, como resultado final se recomienda un espesor mínimo de 12 cm, refuerzo y hormigón con una resistencia de 4200 kg/cm² y 350 kg/cm² respectivamente; además se debe colocar un anillo perimetral soldado del mismo espesor de las varillas de la tapa. Esta recomendación del anillo perimetral debe ser estudiada en laboratorio y me parece que es el motivo de otro trabajo final.

En mi concepto el problema de las tapas circulares y cuadradas de cámaras y cajas de inspección, radica en tres criterios fundamentales los cuales son: el camión de diseño, la resistencia del hormigón y la adherencia entre el refuerzo y el hormigón. Solucionados estos tres criterios de diseño, la vulnerabilidad de estos

tipos de elementos, es mucho menor. En este documento se da claridad a los ingenieros para la formulación del problema y toma de decisiones, en cuanto a diseño de estos elementos, basados en los conceptos aquí expuestos.

1. INTRODUCCION

En vulnerabilidad de tapas circulares y cuadradas de cámaras y cajas de inspección, lo que se pretendió fue fundamentalmente dar al ingeniero herramientas claras para el diseño de este tipo de estructuras, debido no a la falta de normatividad, si no a la aplicación de normatividad existente que es muy clara para puentes y estructuras de concreto como edificios.

La problemática de este tipo de elementos no ha sido muy evidente, porque en la mayoría de los casos no se presentan daños contra terceros, pero las empresas de la región las tienen que cambiar continuamente, y de una forma empírica hacer cambios en la cantidad de refuerzo para mitigar el problema.

La importancia del estudio radica en conocer de una manera veraz la problemática de los mecanismos de falla de este tipo de elementos; desde el punto de vista del análisis, e invitar a las empresas públicas de la región a continuar los estudios desde el punto de vista de comprobación de los estados límites, con ensayos de laboratorio, y de esta manera ahorrarles a las Empresas de servicios públicos, y a los usuarios, los dineros causados por la restitución. Previniendo además demandas futuras por accidentes causados por el mal estado de este tipo de elementos.

Para el desarrollo del problema se recopilara información previa en cuanto a especificaciones técnicas, volúmenes de vehículos, inspección fotográfica, información personal recibida durante la inspección. Luego con esta información y utilizando el método de elementos finitos de la banda y la teoría de la elasticidad, se pretende hacer el análisis de las estructuras definiendo de antemano el camión de diseño para este tipo de elementos. Con las especificaciones técnica y

utilizando la teoría de flexión simple para elementos de concreto, encontramos los momentos resistentes; los cuales se comprobaran con los datos obtenidos del análisis y de esta manera dar las recomendaciones pertinentes para mejorar el funcionamiento de los elementos en estudio.

En el estudio se hará mucho énfasis, al capítulo de inspección preliminar, porque éste es el pilar de los derroteros de la investigación a seguir. En muchos casos estudios de vulnerabilidad han fallado por el no conocimiento del problema real, aunque hallan utilizados los programas más modernos en ingeniería pero arrojando datos que nada tenía que ver con la problemática real.

Como la propuesta tiene un carácter solamente de análisis, invito a que desde la universidad en otro trabajo de grado se trate de corroborar lo aquí expuesto y de esta manera este trabajo sea útil para la sociedad y el gremio en general.

2. INSPECCION PRELIMINAR

La inspección preliminar en tapas circulares, cuadradas y rectangulares de cajas de inspección de sistemas de acueducto y alcantarillado. Se deben tener en cuenta parámetros importantes como son: la información directa e indirecta, la experiencia del técnico que realiza la auscultación, equipos, registros de datos, mediciones durante la inspección etc.

2.1 INFORMACION DIRECTA

Es aquella que se obtiene de las normas de diseño, memorias de calculo, y de los planos existentes para las diferentes formas de tapas. Es muy importante anotar que también se considera información directa aquella que se obtiene de datos de laboratorio y de mediciones logradas durante la inspección.

2.2 INFORMACIÓN INDIRECTA

Es aquella que se obtiene verbalmente de aquellas personas bien sea de terceros, que participaron en la fabricación de los elementos a estudiar. Esta información siempre debe ser recopilada en informes ejecutivos para luego ser utilizada en la etapa de análisis de datos.

2.3 EXPERIENCIA DEL PERSONAL

En estudios de Vulnerabilidad las tendencias modernas, son las de utilizar un equipo interdisciplinario para realizar la auscultación, como lo son:

Especialistas en Estructuras

Especialistas en Suelos

Especialistas en Geotecnia

Especialistas en Patología

Pero teniendo en cuenta que las tapas de inspección son elementos relativamente sencillos, se puede concluir que con un buen manual de auscultación y un profesional de la ingeniería civil, que maneje la instrumentación para la toma de datos. De una manera acertada se lograría una excelente inspección.

2.4 EQUIPOS

En la etapa de inspección los equipos a utilizar son: elementos de señalización preventiva para el control de flujo vehicular cuando se estén obteniendo los datos, equipo fotográfico, lupa de fisuras, anchos de fisuras y metro.

2.5 REGISTROS DE DATOS

Es muy conveniente no conformarse por los registros obtenidos por la fotografía, y se aconseja en esta etapa preliminar de recolección de datos, obtener información de la geometría del elemento, del tamaño de las fisuras y de la longitud.

2.6 MEDICIONES DURANTE LA INSPECCIÓN

Como ya se explico es importante obtener mediciones precisas en la etapa preliminar de auscultación, ya que esta información será el punto de partida para desarrollar una metodología coherente a las necesidades del elemento a estudiar, por lo tanto el equipo a utilizar para las mediciones de fisuras, como mínimo se debe componer, de una regla de fisuras, la cual es una plantilla donde están dibujados diferentes tamaños de fisuras. Deslizándose esta por el elemento en

estudio, hasta que coincida con la fisura de la regla y de esta manera obtener el tamaño de la fisura.

2.7 MANUAL DE AUSCULTACIÓN

A continuación se diseñara un catalogo de tipos de daños, causas posibles y acciones a seguir, también se incluirá un registro fotográfico de las fallas más comunes, de tapas de concreto circulares, y cuadradas de sistemas de acueducto y alcantarillado.

FISURACION DE UNA TAPA POR RETRACCION PLASTICA



Vista de planta de la tapa

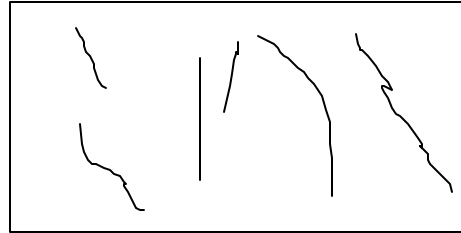
Características

- Generalmente son grietas anchas y poco profundas, el ancho de la grieta varía de 0.2 a 0.4 mm.
- la falla se produce por exudación entre la primera hora y las seis horas después de vaciado el concreto.
- las grietas que predominan, se presentan en el sentido del refuerzo de menor cuantía.

Causas

- Evaporación muy rápida del agua de la superficie.
- Velocidad lenta de exudación.
- Relación agua cemento muy alta.
- Deficiente diseño de la mezcla. (estimación agregado fino)
- No se tienen en cuenta las condiciones de exposición.
- Uso de aditivos retardantes en forma inadecuada.
- Curado deficiente.

FISURACION DE UNA TAPA POR RETRACCION PLASTICA



Planta de la tapa.

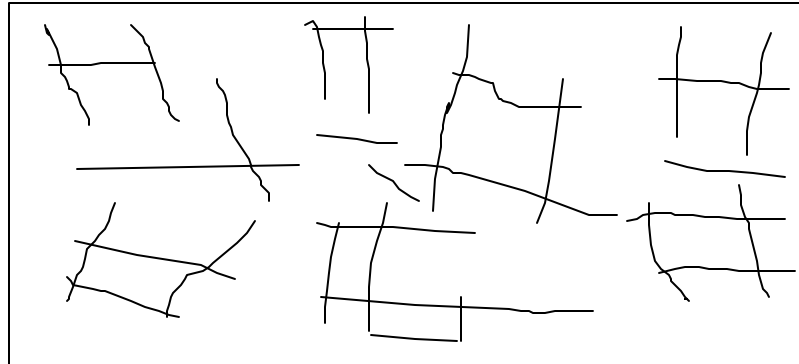
Características

- Generalmente son grietas anchas y poco profundas, el ancho de la grieta varia de 0.2 a 0.4 mm.
- la falla se produce por exudación entre la primera hora y Las seis horas después de vaciado el concreto.
- las grietas que predominan, se presentan en el sentido Del refuerzo de menor cuantía.

Causas

- Evaporación muy rápida del agua de la superficie.
- Velocidad lenta de exudación.
- Relación agua cemento muy alta.
- Deficiente diseño de la mezcla. (estimación agregado fino)
- No se tienen en cuenta las condiciones de exposición
- Uso de aditivos retardantes en forma inadecuada.
- Curado deficiente.

FISURACION DE UNA TAPA POR RETRACCION HIDRAULICA.



Planta de la tapa

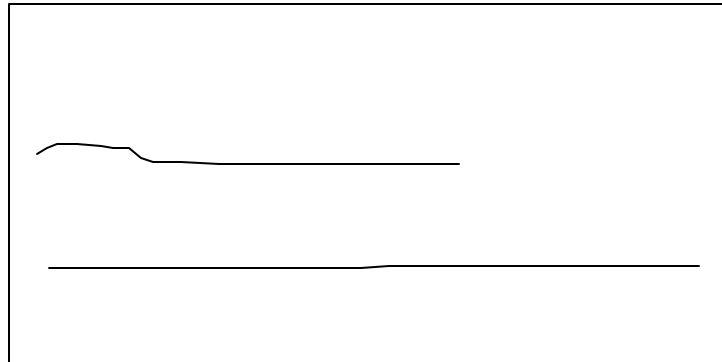
Características

- Grietas poco anchas que varía de 0.05 a 0.2 mm.
- La falla se presenta semanas o meses después, de colocado el hormigón por disminución de volumen del hormigón endurecido.

Causas

- Estimación errónea del tamaño del agregado fino en exceso.
- Cuantía mínima menor de lo sugerido por el NSR-98.
- Curado deficiente.

FISURACION DE UNA TAPA POR RETRACCION HIDRAULICA.



Planta de la tapa

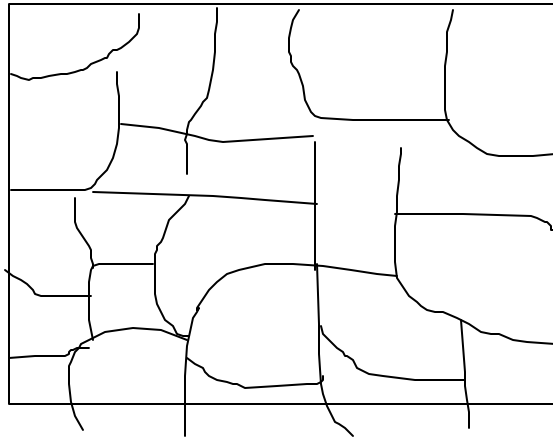
Características

- Grietas poco anchas que varía de 0.05 a 0.2 mm.
- La falla se presenta semanas o meses después, de colocado el hormigón por disminución de volumen del hormigón endurecido.

Causas

- Estimación errónea del tamaño del agregado fino en exceso.
- Cuantía mínima menor de lo sugerido por el NSR-98.
- Curado deficiente.

FISURACION EN MAPA



Planta de la tapa

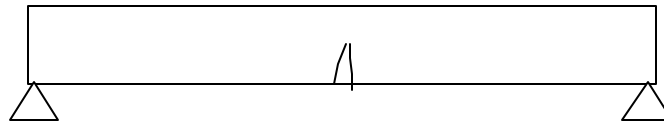
CARACTERISTICAS

- Es una grieta que afecta superficialmente la tapa de hormigón y su espesor varia entre 0.05 a 0.2 mm.
- Esta grieta generalmente aparece entre un día y una semana de haber vaciado el hormigón.
- Su distribución es en forma de malla o poligonal.

Causas

- Curado deficiente.
- Alto contenido de cemento.

ROTURA FRAGIL EN FLEXION SIMPLE



Características

- La grieta es instantánea se produce sin aviso alguno
- La falla se produce sin que el refuerzo alcance el punto de fluencia, y donde aparece la primera grieta.
- La armadura de tracción usualmente también se rompe.

Causas

- La causa fundamental de la falla frágil, es que la placa no cumple con los requisitos del código, en cuanto a cuantía mínima.
- La placa en estas condiciones se comporta como un elemento a flexión homogéneo, donde la capacidad del hormigón a flexión, es del 10% de su resistencia a compresión, produciéndose la falla frágil.

AGRIETAMIENTO POR FLEXION CUANTIA MEDIA

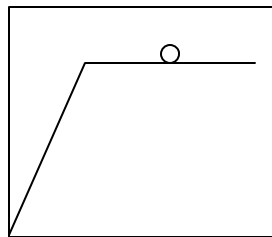
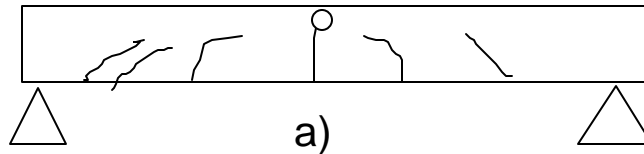


Diagrama esfuerzo deformación

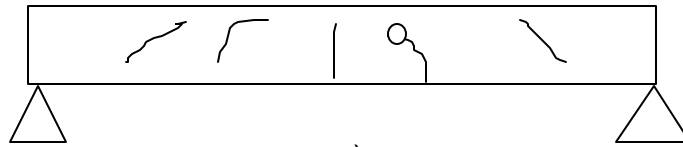
Características

- Grietas de ancho variable y número escaso
- Es importante anotar que las grietas en la zona de compresión se cierran.
- El número de grietas es directamente proporcional a la carga y llega un momento en que no se producen más grietas, pero el espesor de estas aumenta.

Causas

- La falla se produce en el centro del claro en la zona de compresión del elemento, cuando el refuerzo llega al punto de fluencia y se rompe.
- Para que se produzca este tipo de falla, la cuantía de la armadura debe superar la cuantía mínima.

AGRIETAMIENTO POR FLEXION CON CUANTIA ALTA



a)

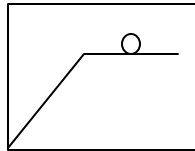


Diagrama esfuerzo deformación

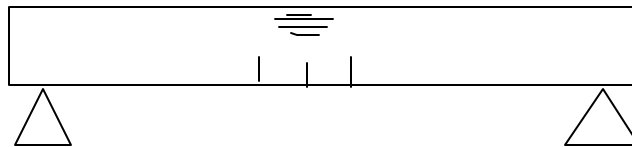
Características

- Grietas de ancho variable y en gran numero
- Es importante anotar que las grietas en la zona de Compresión se cierran.
- El numero de grietas es directamente proporcional a la carga y llega un momento en que no se producen mas grietas pero el espesor de estas aumenta.

Causas

- La falla se produce en el centro del claro en la zona de compresión del elemento, pero la falla de este, es debida a que el refuerzo llega al punto de fluencia y se rompe.
- Para que se produzca este tipo de falla, la cuantía de la armadura debe superar la cuantía mínima.

AGRIETAMIENTO POR FLEXION CON PLACA SOBRRERFORZADA



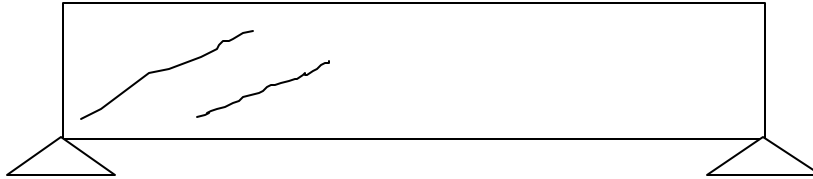
Características

- Grietas muy finas y en pequeño número, en la zona de tracción.
- Es importante anotar que las fisuras en la zona de compresión tiene forma horizontal.
- El número de fisuras es inversamente proporcional a la cuantía por flexión.

Causas

- La falla se produce en el límite elástico.
- Para que se produzca este tipo de falla, la cuantía de la armadura debe superar la cuantía balanceada.
- La deformación del refuerzo es menor que 0.003, por lo tanto se presenta menor agrietamiento.
- La falla se produce por agotamiento del concreto, en el bloque de esfuerzos a compresión.

AGRIETAMIENTO DE ESFUERZO CORTANTE POR TRACCION DIAGONAL



CARACTERISTICAS

- Agrietamiento en un ángulo de 45° , si en la zona de perturbación no se presenta un momento alto, en caso contrario el ángulo puede ser mayor.
- La grieta es de ancho variable siendo menor en la zona de compresión del elemento.
- La grieta al llegar al bloque de esfuerzos a compresión se cierra.
- Las grietas se presentan en forma paralela como se muestra en la figura.

Causas

- La causa del agrietamiento es la excesiva tracción principal diagonal en el hormigón.

AGRIETAMIENTO DE ESFUERZO CORTANTE POR COMPRESION DIAGONAL



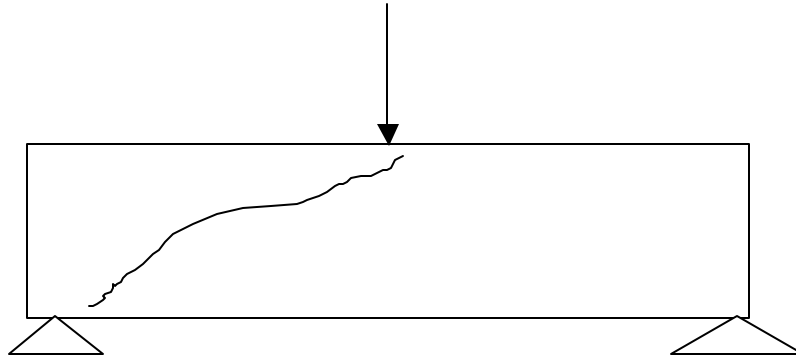
CARACTERISTICAS

- Agrietamiento inclinado en un ángulo de 45° .
- La grieta es de ancho constante en su longitud, y su espesor varia de 0.05 a 0.1mm.
- La grieta en su trayectoria no alcanza los bordes superior e inferior de la sección del elemento.
- Las grietas se presentan en forma paralela como se muestra en la figura.

Causas

- La causa del agrietamiento es la excesiva compresión del hormigón en la dirección de la grieta.

AGRIETAMIENTO POR CORTANTE DEBIDO A CARGAS CONCENTRADAS



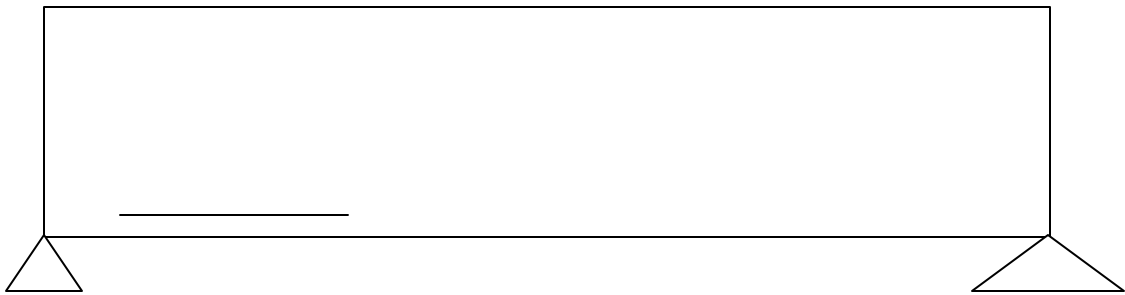
Características

- La grieta empieza con un ángulo de 45° , luego se vuelve curva dirigiéndose hacia la carga concentrada.
- La grieta tiene un espesor variable, siendo mayor en la zona de tracción, hasta cerrarse en la zona de compresión.

Causas

- La grieta se debe a la tracción diagonal, asociada con la transmisión de la carga concentrada.

FISURA DE ANCLAJE EN ZONA DE APOYO



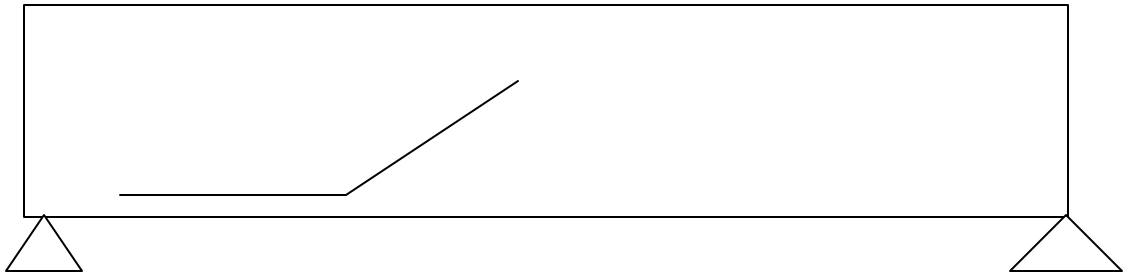
Características

- Agrietamiento paralelo al refuerzo de tracción longitudinal.
- El espesor de la grieta es constante en toda su longitud y varía de 0.15 a 0.4 mm. Dependiendo de las condiciones de anclaje.

Causas

- Dimensionamiento incorrecto de la longitud de anclaje.
- Falta de refuerzo transversal en la zona de anclaje

FISURA COMPUESTA DE ANCLAJE Y CORTANTE



Características

- El espesor de las fisuras varía de 0.15 a 0.4mm.
- La fisura en un comienzo es paralela al refuerzo longitudinal a tracción y luego toma una inclinación de 45° , como se muestra en la figura.

Causas

- Es debida a un fallo simultaneo de anclaje y cortante

FISURAS DE ATAQUE POR SULFATOS



PLANTA

Características

- La distribución de las grietas es de forma aleatoria.
- Es muy común que en los bordes de las fisuras aparezcan depósitos blancos.

Causas

- Las grietas se originan por la reacción del ion sulfato con algunos componentes del cemento.

3. REGISTRO FOTOGRÁFICO

A continuación se muestra un registro de 6 fotos de tapas de cámara y cajas de inspección. El cual representa las fallas más comunes en este tipo de elementos estructurales.

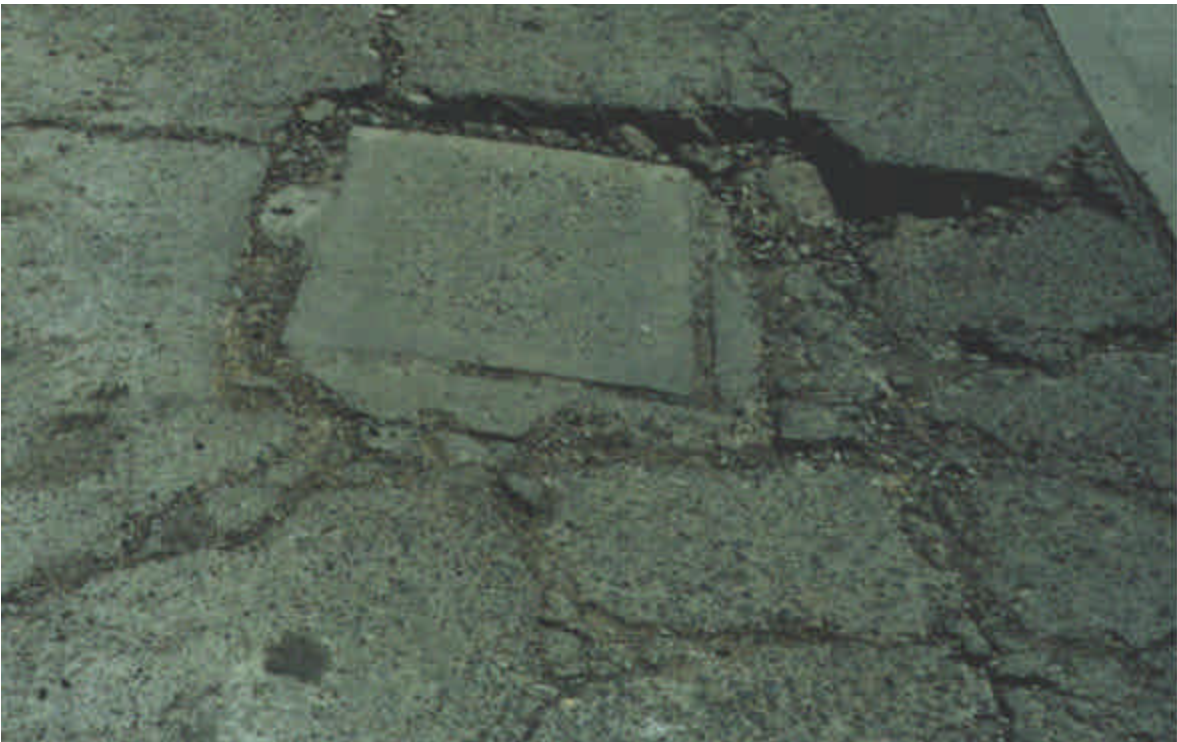


Foto 1. Asentamiento caja de inspección. Se muestra una tapa de caja de inspección de 70 x70, donde claramente se deduce que la resistencia a la abrasión es poca, debido posiblemente a la baja resistencia del hormigón y a la calidad de los agregados. También se puede notar que el suelo sufrió un asentamiento diferencial sin ocasionar fisuras en la tapa.

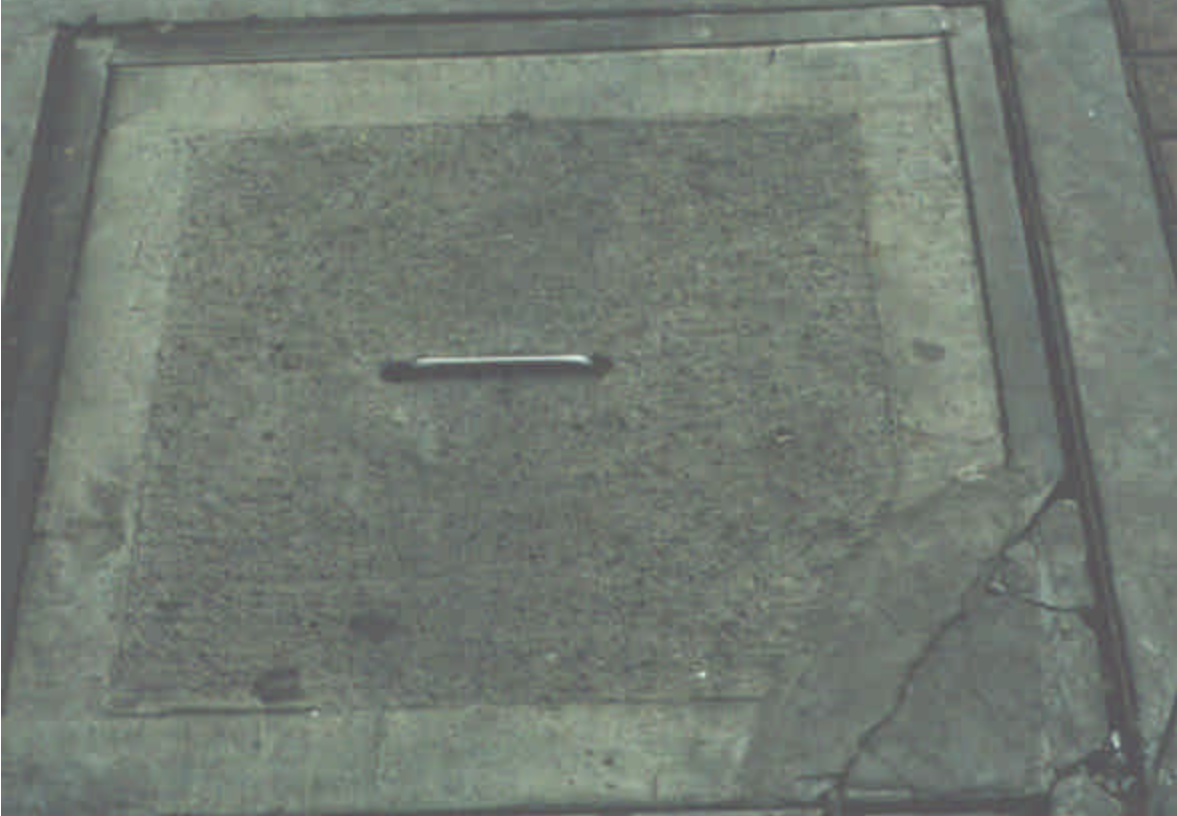


Foto 2. Falla debida al desarrollo de palancas en esquina. Donde para evitar este tipo de fallo, se debe adicionar refuerzo especial tanto en la parte superior como inferior de las esquinas, a lo largo de una distancia en cada dirección a un quinto del lado de la tapa.

El refuerzo en la parte superior debe ser paralelo a la diagonal de la esquina, mientras que el refuerzo de la parte inferior debe ser perpendicular a la diagonal de la esquina. La cual se obtiene de unir los lados iguales del triángulo isósceles $L/5$.



Foto 3.Falla por superación de límites de servicio. Se muestra una tapa cuadrada de 70 x70, con acero de refuerzo liso de 3/8" colocados de manera intercalada, unos con gancho a 90° y otros sin ganchos.

La tapa como se muestra claramente ya cumplió su vida útil, debido posiblemente a la resistencia del concreto, tamaño del agregado grueso, varillas no corrugadas y al no tener efecto el anclaje mecánico que se obtiene en los extremos de la varilla.



Foto 4.Falla por sobrefuerzo. La tapa presenta el patrón de línea de fluencia apoyada simplemente en todos sus lados, la cual probablemente esta sobreforzada, observándose deficiencias notorias en el anclaje del refuerzo y baja resistencia a la abrasión debido a la poca resistencia del hormigón.



Foto 5. Longitud de anclaje deficiente. Muestra deficiencia en el anclaje, desarrollo de palanca de esquina, y recubrimiento casi superficial en el lado superior de la fotografía.

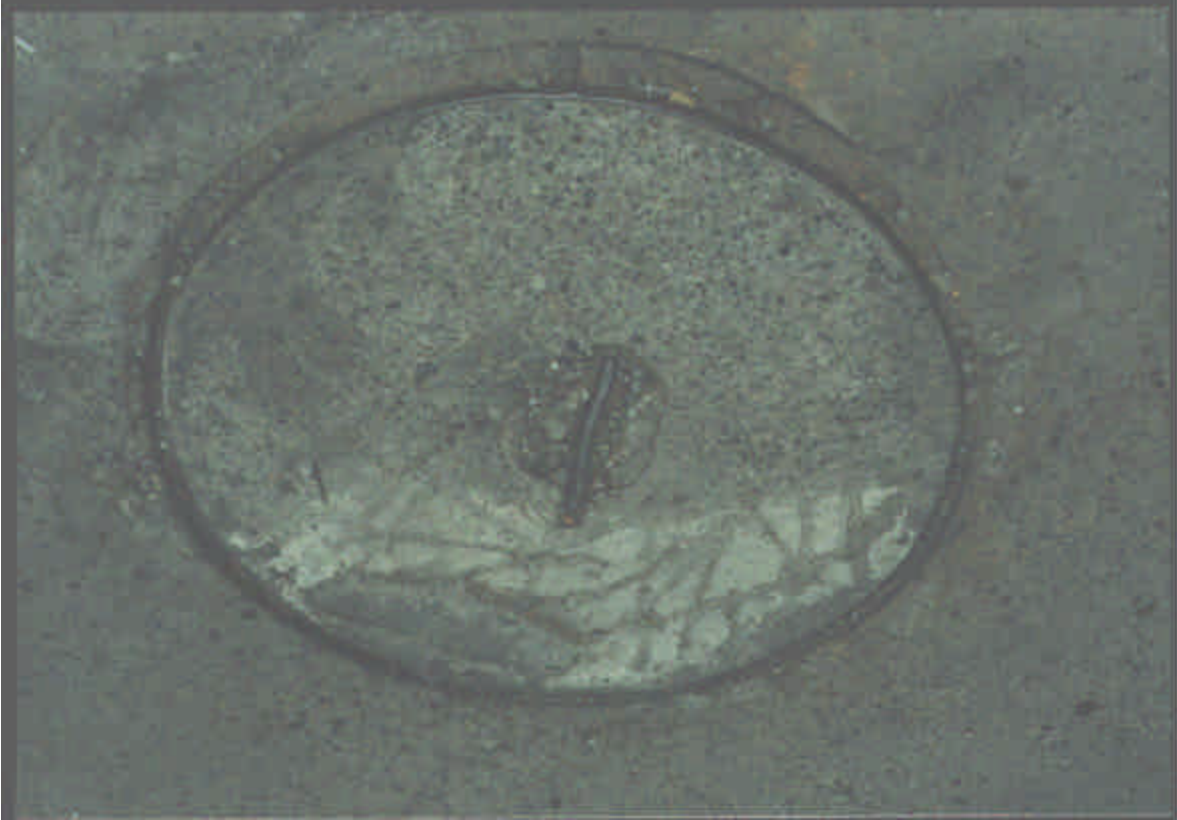


Foto 6. Desgaste a la abrasión. Se muestra una tapa circular de 70 cm de diámetro, la cual presenta baja resistencia a la abrasión y una platina alrededor de todo su perímetro.

En general estas tapas presentan mejor comportamiento que las tapas cuadradas según muestreo de campo.

4. MARCO TEORICO ANÁLISIS DE PLACAS CUADRADAS Y CIRCULARES

4.1 VOLÚMENES DE TRANSITO

Se realizo en el centro de Pereira (cra7 con calle 19) y en la calle 40 con carrera 7 un aforo manual para determinar las cargas a las que pueden estar sujetas las tapas de las cajas de inspección, el resultado se muestra a continuacion en las tablas 1 y 2.

VOLUMEN HORARIO MAXIMO CRA7 CALLE 19			
TIPO DE VEHICULOS	# DE VEHICULOS	# DE EJES	TOTAL DE EJES
LIVIANO	395	2	790
BUSETA	2	2	4

Tabla 1. Distribución del transito en el centro de Pereira

VOLUMEN HORARIO MAXIMO CRA 7 CALLE 41			
TIPO DE VEHICULO	# DE VEHICULOS	# DE EJES	TOTAL DE EJES
LIVIANO	480	2	960
BUSETA	360	2	720
CAMION	10	2	20

Tabla 2. Distribución del transito calle 40 carrera 7

4.2 CARGAS DE DISEÑO

Observando las características del transito se analizaran las placas con la carga correspondiente al camión de diseño H-20, el cual tiene un valor máximo por eje de 15 ton y un valor mínimo de 3. ton. Este valor deberá ser dividido por dos (2), ya que por una tapa de caja de inspección de alcantarilla, solamente puede circular una llanta de cualquier vehículo.

4.3 FACTOR DE IMPACTO

El impacto para el diseño de tapas de alcantarillado es un factor importante de tener en cuenta, debido a que las tapas están sometidas a cargas continuas de transito y que en algunos casos se presenta el golpeteo por la terminación no continua de los asientos de las cajas. Es importante tener en cuenta que en el trabajo de campo que se realizo en el centro de Pereira, la mayoría de las tapas simplemente apoyadas no se presentaba este fenómeno.

Para el impacto de tomara un valor del 30% de la carga viva en el análisis de las placas.

4.4 VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE

Se establece primero con la recopilación de los diferentes diseños de placas circulares y cuadradas de las empresas de la región. Luego se verifica el diseño de cada tapa obteniendo el Momento Resistente por unidad de longitud. Utilizando la Teoría del Concreto Reforzado para flexión.

En el caso del Cortante, se revisara el cortante perimetral comparando que este cumpliendo con los valores admisibles del código. Además se revisara la adherencia y se darán recomendaciones tanto de la resistencia del concreto y del tamaño del afirmado para el diseño final de una placa.

4.5 VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO

En él calculo de las tapas rectangulares se desarrollo un programa en Matlab de Elementos Finitos simplificado, llamado el método de la banda finita; el cual tiene una ventaja considerable en el diseño de tapas en cualquier condición de borde y además como los elementos son unidimensionales se reduce notablemente los cálculos matriciales ya que la matriz almacena menos datos y la anchura de banda es muy angosta.

El programa se sustenta en la matriz de rigidez de la banda finita la cual se encuentra desarrollada en la referencia 10. Calculada la matriz de rigidez del elemento banda; por inspección se calcula la matriz de rigidez de la tapa, luego se construye la matriz de carga de una banda simplemente apoyada; obteniéndose los parámetros de desplazamientos para luego obtener los desplazamientos en el centro y los momentos de flexión longitudinal de cada banda.

En el caso de la tapa circular se desarrolla el programa en Matlab por la teoría de placas tomada de la referencia 12 articulo 19.

5. ANÁLISIS DE PLACAS CIRCULARES Y CUADRADAS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS PARA ANALIZAR

5.1.1 Caso 1

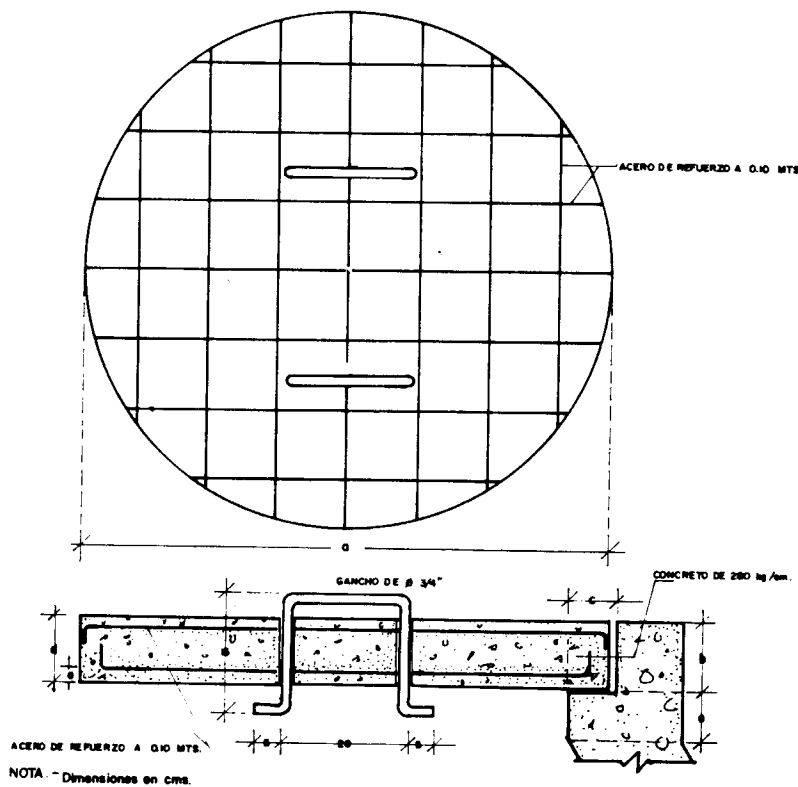
Se analizara primero una tapa de hormigón reforzado de 280 kg/cm² típica para cámara de inspección tomada de las especificaciones técnicas generales de construcción Gobernación de Caldas como se muestra en la figura 1.

La cual tiene un diámetro de 70 cm, espesor de 10 cm, refuerzo superior e inferior de 3/8 separados cada 10 cm y dos agujeros ubicados en 1/3 del diámetro de 1" para la colocación de 2 ganchos para el manejo de la placa de un diámetro de 3/4"

5.1.2 Caso 2

En la figura 2 se muestra las recomendaciones técnicas para la construcción de una tapa de hormigón reforzado de 210 kg/cm² típica para Caja de inspección tomada de las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción de la Gobernación de Caldas la cual tiene una luz entre 50 y 70 cm, espesor de 8 cm, refuerzo superior de 3/8" geoméricamente distribuido como se muestra en la figura 2 y dos agujeros en el centro de 3/4" para la colocación de un gancho para el manejo de la Placa de un diámetro de 5/8".

En las Especificaciones Técnicas de Corpocaldas encontramos las mismas características descritas para la Figura 1 pero el refuerzo se encuentra distribuido en la cara inferior.



ACERO DE REFUERZO A 0.10 MTS.

NOTA. - Dimensiones en cms.

U S O DE LA T A P A	REF	a	b	c	d	e
PARA TRAFICO AUTOMOTOR	1/2"	74	10	7	3	6
PARA TRAFICO PEATONAL	3/8"	70	6	5	2	6

TAPA DE CONCRETO TIPICA PARA CAMARA DE INSPECCION

DIVISION TECNICA
DIBUJO E.V.E. **OPPP**

Figura 1. Tapa de cámara de inspección especificaciones técnicas Gobernación de Caldas.

5.1.3 Caso 3

En la Figura 3 se muestra las recomendaciones técnicas para la construcción de una Tapa de hormigón reforzado de 280 kg/cm² típica para Caja de Válvula de Calzada tomada de las Normas Para Diseño y Construcción de Alcantarillado de Empresas Publicas de Manizales. La cual tiene dimensiones entre 50 y 90 cm dependiendo de la Válvula instalada, espesor de 10 cm, refuerzo superior e

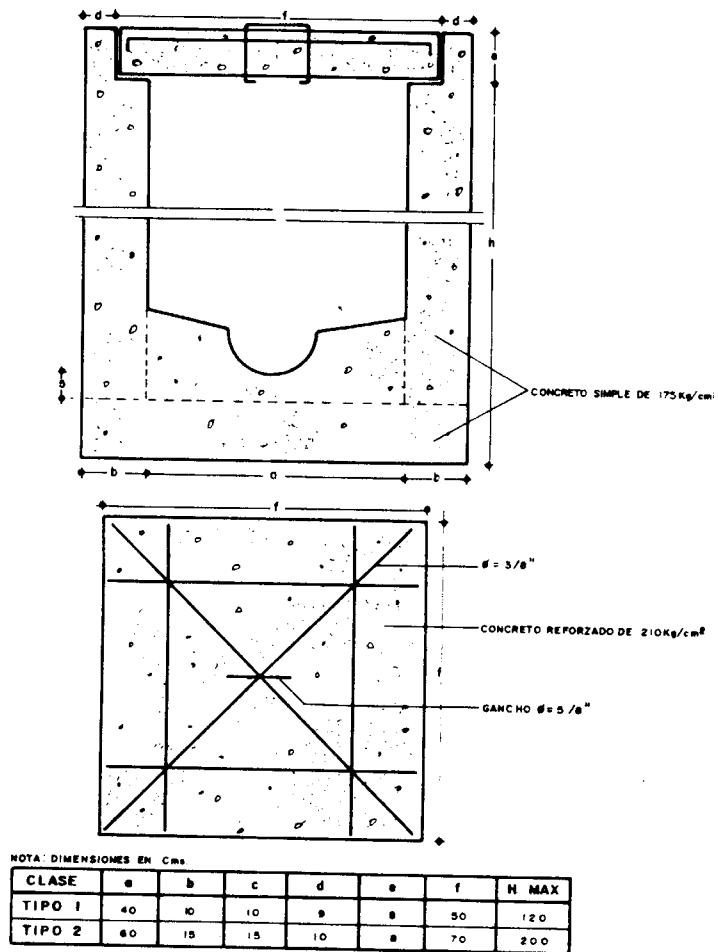
inferior de 3/8" separados cada 10 cm, una abertura en el centro de 15 cm y 4 agujeros en línea de 1" para la colocación de 2 ganchos para el manejo de la Placa como se muestra en la Figura 3.

5.1.4 Caso 4

En la Figura 4 se muestra las recomendaciones técnicas para la construcción de una Tapa de hormigón reforzado de 280 kg/cm² típica para Caja de Válvula en zona verde tomada de las Normas Para Diseño y Construcción de Alcantarillado de Empresas Publicas de Manizales. La cual tiene dimensiones que varían entre 50 y 90 cm dependiendo de la Válvula instalada, espesor de 10 cm, refuerzo inferior de 3/8" separados cada 14 cm, una abertura en el centro de 15 cm y 4 agujeros en línea de 1" para la colocación de 2 ganchos para el manejo de la Placa como se muestra en la Figura 4.

5.1.5 Caso 5

En la Figura 4 se muestra las recomendaciones técnicas para la construcción de una Tapa de hormigón reforzado de 210 kg/cm² típica para cámara de inspección tomada de las Normas Para Diseño de Redes de Acueducto y Alcantarillado de Aguas y Aguas de Pereira. La cual tiene un diámetro de 70 cm, espesor de 10 cm, refuerzo inferior como se muestra en la figura, una platina de 4"x1/8" al borde de la tapa, 4 orificios de ventilación y 2 orificios ubicados en la mita del diámetro de 1" para la colocación de 1 gancho para el manejo de la Placa de un diámetro de 3/4"



CAJAS DE INSPECCION

Figura 2. Caja de inspección tomada de las especificaciones técnicas generales de construcción de la Gobernación de Caldas.

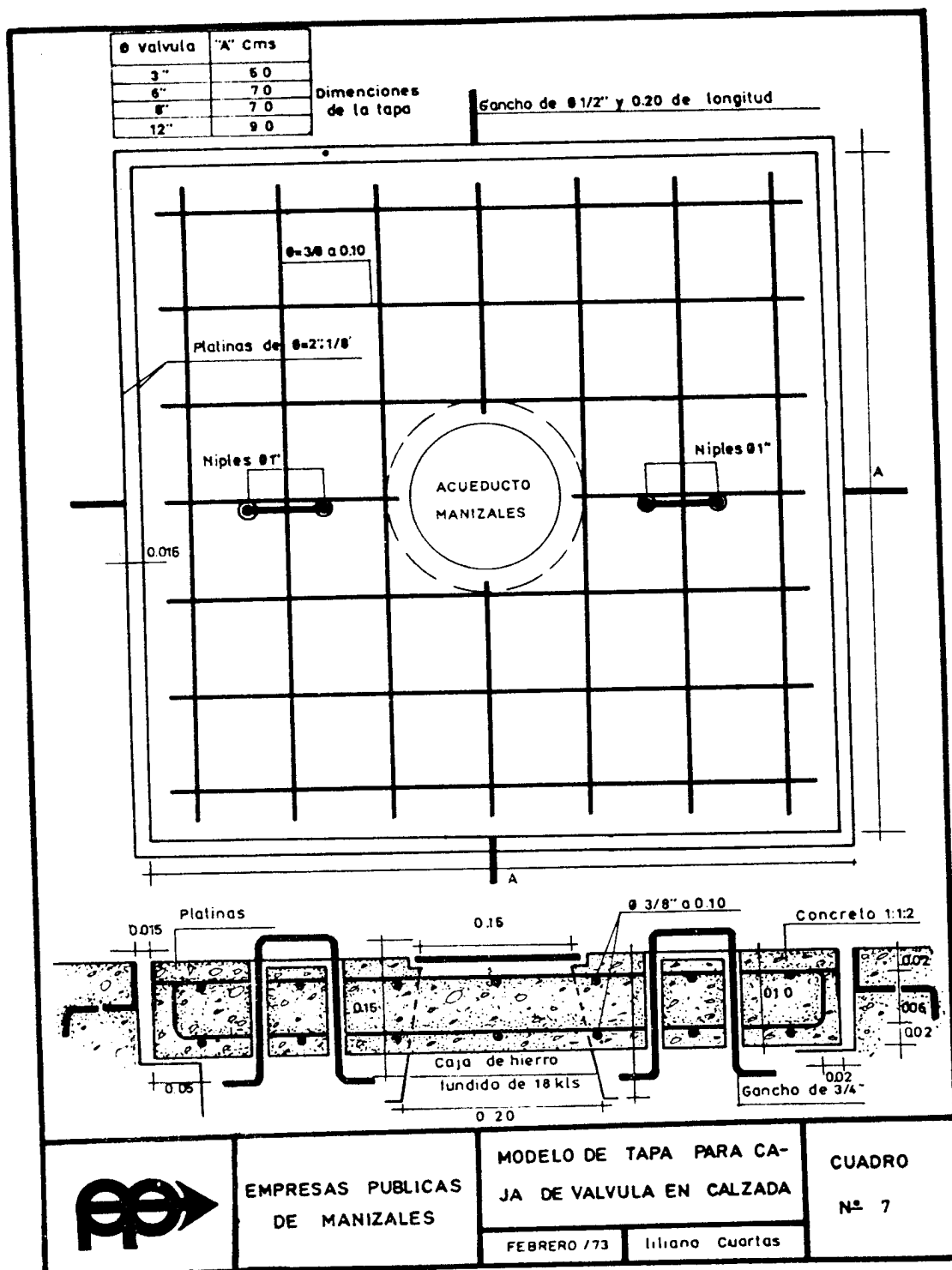


Figura 3. Modelo de tapa para caja de válvula en calzada.

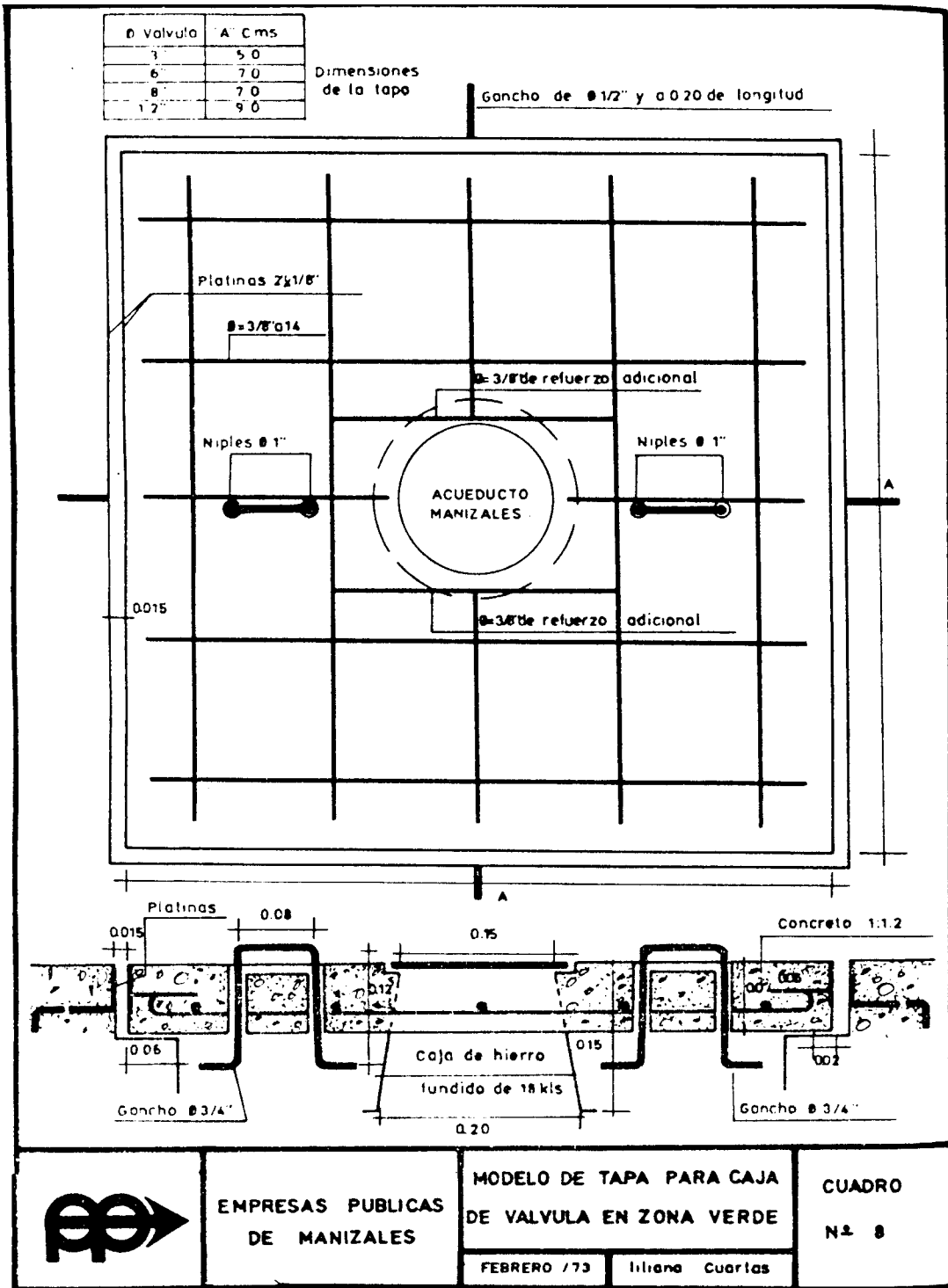


Figura 4. Modelo de tapa para la caja de válvula en zona verde.

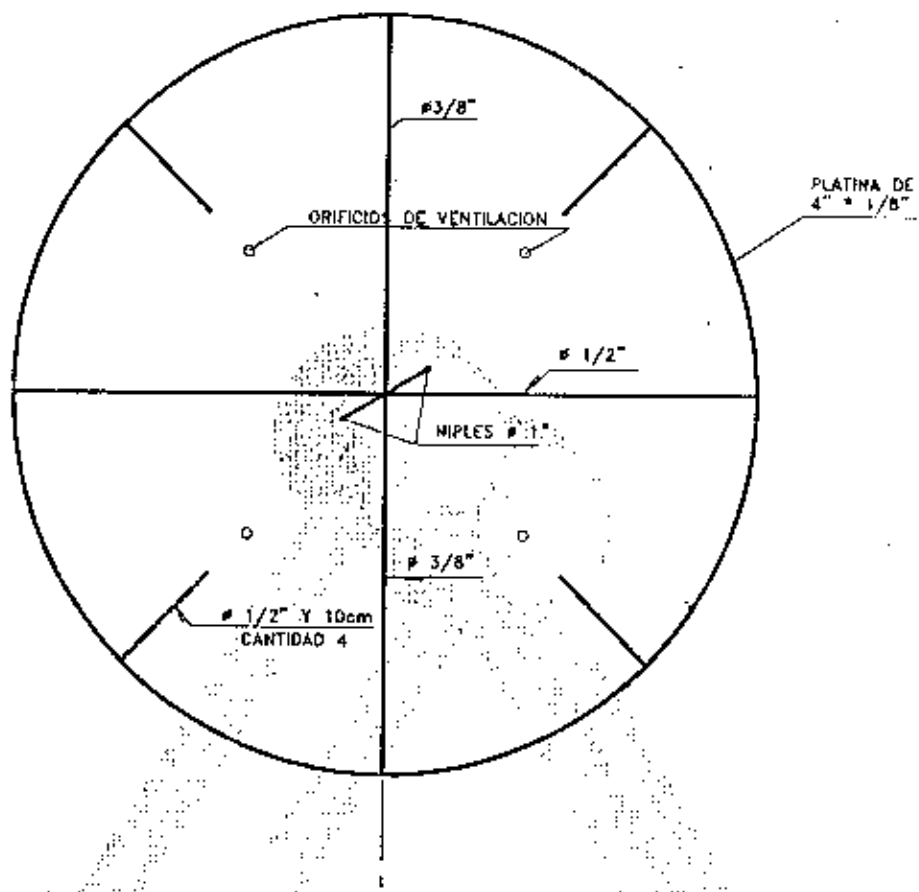


Figura 5. Tapa de cámara de inspección de Aguas y Aguas de Pereira

5.2 SOLUCION DEL ANALISIS DE LOS CASOS EN ESTUDIO

La carga de diseño se toma del camión H-20 con un eje de 15 ton, el cual tiene una carga por llanta de 7.5 ton.

La carga de impacto se tomara del orden del 30% de la carga viva.

Carga ultima de diseño: es igual a un coeficiente de mayoracion 2.17 multiplicado por la suma de carga de impacto y carga viva.

Para la solución del análisis se hará con script que se menciona en el capítulo anterior y para la solución de la tapa con abertura.

Se modelara utilizando el mismo script de la banda finita, ya que el análisis desarrollado por TIMOSHENKO EN 12, en placas cuadradas y redondas con aberturas pequeñas como la del caso en estudio 15 cm, la deformada de la placa es la misma a que esta estuviera sometida a una carga puntual en el centro. Es de anotar que este caso se asemeja al de la placa sometida a una carga uniformemente distribuida sobre un cuadrado de 0.2 x 0.2, que en la practica esta carga se asemeja a una carga puntual. Como bien es sabido en una placa circular sometida a carga puntual en el centro y simplemente apoyada la solución no es exacta, pero si es exacta en diferentes puntos al centro. La solución aproximada para el momento en el centro es estudiar la placa sujeta a una carga uniforme sobre un circular concéntrico.

Como conclusión final la deformada de la placa con una abertura pequeña en el centro es igual a la deformada de la placa con una carga puntual en el centro. Obteniéndose valores muy idénticos de la deformada, si se considera en el centro una carga distribuida de .20 x .20 ya sea de radio (r) o de la longitud de la tapa cuadrada (L).

RESULTADOS ANALISIS DE TAPAS EN ESTUDIOS

DESCRIPCION	ESPEJOR (cm)	LONGITUD (cm)	Mmax Kgxcn/cm	DEFLEXION (cm)
Tapa figura 1	10	70	3238	.076
Tapa figura 2	8	70	3733	0.1831
	8	50	3733	.0934
Tapa figura 3	10	50	3733	0.0414
	10	90	3733	0.1342
Tapa figura 4	10	50	3733	0.0414
	10	90	3733	0.1342
Tapa figura 5	10	70	3238	.076

Tabla 3. Resumen resultado análisis tapas para el camión H-20.

6. MECANISMOS DE FALLA

Los mecanismos de falla a estudiar son:

Resistencia del Hormigón

Estados Limites de Servicio

Estados Limites Ultimos

6.1 RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Las principales características del hormigón son: resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, resistencia al intemperismo y permeabilidad. Cualidades que se deben tener en cuenta en el diseño de tapas de hormigón para cámaras y cajas de inspección. Como se puede observar en el registro fotográfico que se adjunta en este documento la resistencia del hormigón para la construcción de las tapas no es la adecuada y se sugiere que la resistencia del hormigón sea alta por los siguientes motivos.

El espesor de las tapas varías entre 8 y 10 cm donde el tamaño máximo del agregado debe variar entre 12 y 19 mm, lo cual no esta sucediendo como se muestra en el registro fotográfico; además desde el punto de vista de la abrasión numerosos ensayos demuestran que la resistencia de la abrasión depende principalmente de la resistencia del hormigón, y de la calidad de los agregados. Condiciones éstas que no sé están cumpliendo con las tapas actuales, ya que en un alto porcentaje tienen poca resistencia a la abrasión.

En cuanto a la resistencia al intemperismo y la permeabilidad depende de bajar la relación de agua/cemento y de incluir aire, características estas de hormigones de alta resistencia.

Es importante anotar que en este tipo de elementos el bloque de compresión tiene un ancho muy pequeño, y para evitar una falla en el bloque de compresión es necesario que la resistencia del hormigón sea alta.

6.2 ESTADOS LIMITES DE SERVICIO

6.2.1 Fisuración

En las tapas de cámaras y cajas de inspección existen dos tipos de fisuras como se muestra en el registro fotográfico:

- Fisuras estructurales. Son las debidas a la adherencia del hormigón con el refuerzo y por los esfuerzos derivados de la aplicación de las cargas externas.
- Fisuras no estructurales. Son las producidas en el hormigón en el estado plástico y estado de endurecimiento.

Ambos tipos de fisuración son inherentes al hormigón armado y no es posible evitarla; si no simplemente reducirlas a límites razonables. El alcance de este estudio es describir las posibles fisuras de estado plástico y estado endurecido, y estudiar las causas de las fisuras estructurales debidas a los estados límite últimos en las tapas de cámaras y cajas de inspección.

Es importante destacar que la fisuración se debe evitar a toda costa en tapas de cámaras y cajas de inspección, ya que se disminuye en un alto porcentaje el riesgo de corrosión de la armadura, y además los diferentes tipos de estructuras deben ser y parecer seguras.

Desde el punto de vista de la fisuración, los concretos de alta resistencia son más recomendables porque exigen altos estándares de calidad.

6.6.2 Control de deformaciones

El control de las deformaciones en tapas de cámaras y cajas de inspección, se realizara con los diagramas de las deformadas de los cinco (5) tipos de tapas en estudio. Obtenidos del análisis desarrollado por la banda finita y la teoría de la elasticidad en tapas de concreto circulares y cuadradas; estos resultados se comprobaran con los requisitos mínimos de servicio que exige el código NSR-98; para las deflexiones de losas en dos direcciones, donde el espesor mínimo de la tapa para no revisar deflexiones será de $L/30$ y la deflexion máxima instantánea calculada permisibles debida a carga viva es $L/360$.

6.2.3 Vibraciones

Las vibraciones en este tipo de estructuras según el código de puentes Colombiano es $0.3 \times CV$, donde CV es carga viva.

6.3 ESTADOS LIMITES ULTIMOS

En tapas de cámaras y tapas de caja de inspección se tendrá en cuenta los siguientes estados limites últimos que son acordes a las necesidades del estudio: flexión simple, cortante perimetral, y adherencia del refuerzo con el hormigón. El cual puede ser uno de los estados limites mas critico a estudiar por las características geométricas y el tamaño de las tapas.

6.3.1 Flexión simple

En flexión simple, se hará una revisión de la cuantía mínima y máxima de estos elementos estructurales, ya que con una cuantía mínima se puede evitar la presentación de rotura frágil. En el diseño de tapas como elementos a flexión, se deben garantizar las cuantías correspondientes a la condición balanceada, donde el acero comienza a fluir cuando el concreto alcanza su capacidad última de deformación.

En las recomendaciones finales para los refuerzos de los diferentes tipos de tapas estaremos atentos a la revisión de la cuantía del acero.

6.3.2 Cortante

En el análisis por la banda finita y la teoría de elasticidad no se tiene en cuenta el cortante, pero se hará una revisión del cortante perimetral, con el cortante mínimo requerido por el NSR-98 para placas macizas.

6.3.3 Adherencia

La resistencia de la adherencia del hormigón y el refuerzo es el resultado de la combinación de varios parámetros como son:

- Dimensionamiento incorrecto del anclaje.
- Escasez de armadura transversal en la zona de anclaje.
- La fricción existente entre el refuerzo y el hormigón
- La resistencia del concreto
- El tipo de anclaje
- El diámetro y la separación de las varillas. Una misma cuantía de refuerzo, con diferentes diámetros de varillas, tendrá más resistencia a la adherencia, las varillas de menor diámetro.

De nuevo en el análisis aparece la resistencia del concreto, encontrándose un parámetro nuevo como es el anclaje mecánico, y la longitud de ganchos, que

según el registro fotográfico esta sería la principal causa de daño en estados límites últimos, de tapas de cámaras y caja de inspección.

7. REVISION ESTADOS LIMITES DE SERVICIO Y ESTADOS LIMITES ULTIMOS

Como ya se dijo en el apartado anterior las deflexiones se confrontaran según los análisis obtenidos por el método de la banda y el método de la elasticidad. Comparándose estos resultados con las deflexiones permisibles máximas del NSR-98.

En cuanto a flexión, cortante y adherencia se revisaran los diseño de cinco (5) modelos de tapas de empresas publicas de la región como se muestra a continuación.

7.1 REVISION ESTADOS LIMITES DE SERVICIO

- Caso 1

La deflexión máxima obtenida por el método de la elasticidad es:

$$W_{max} = 0.0792 \text{ cm.}$$

La deflexión máxima permisible tomada del NSR-98 es:

$$W_{max} = 0.1944 \text{ cm.}$$

La deflexión máxima obtenida al aplicar la carga de diseño en el centro de la placa, es menor que la deflexión máxima permitida por el NSR-98, por lo tanto si cumple.

- Caso 2

Solución 1

$L=50$ cm

La deflexión máxima obtenida por el método de la tira finita es:

$W_{max} = 0.1831$ cm.

La deflexión máxima permisible tomada del NSR-98 es:

$W_{max} = 0.1944$ cm.

La deflexión máxima obtenida al aplicar la carga de diseño en el centro de la placa, es menor que la deflexión máxima permitida por el NSR-98, por lo tanto si cumple.

Solución 2

$L=70$ cm

La deflexión máxima obtenida por el método de la tira finita es:

$W_{max} = 0.0934$ cm.

La deflexión máxima permisible tomada del NSR-98 es:

$W_{max} = 0.1389$ cm.

La deflexión máxima obtenida al aplicar la carga de diseño en el centro de la placa, es menor que la deflexión máxima permitida por el NSR-98, por lo tanto si cumple.

- Caso 3

Solución 1

$L=50$ cm

La deflexión máxima obtenida por el método de la tira finita es:

$W_{max} = 0.0414$ cm.

La deflexión máxima permisible tomada del NSR-98 es:

$W_{max} = 0.1389$ cm.

La deflexión máxima obtenida al aplicar la carga de diseño en el centro de la placa, es menor que la deflexión máxima permitida por el NSR-98, por lo tanto si cumple.

Solución 2

$L=90$ cm

La deflexión máxima obtenida por el método de la tira finita es:

$W_{max} = 0.1342$ cm.

La deflexión máxima permisible tomada del NSR-98 es:

$W_{max} = 0.1944$ cm.

La deflexión máxima obtenida al aplicar la carga de diseño en el centro de la placa, es menor que la deflexión máxima permitida por el NSR-98, por lo tanto si cumple.

- Caso 4

Es idéntico al caso anterior solamente varían las cargas de servicio, las cuales son menores al camión H-20, por lo tanto las deflexiones con mayor razón si cumplen.

- Caso 5

Es idéntico al caso 1, la diferencia radica en el refuerzo en cada una de las tapas; por lo tanto desde el punto de vista de las deflexiones también cumple.

7.2 REVISION ESTADOS LIMITES ULTIMOS

En flexion simple se revisara las cuantías mínimas y máximas, para garantizar que las placas fallen cuando el refuerzo empieza a fluir evitando así la falla súbita de la placa, para el análisis se desarrolló un script en MATLAB.

7.2.1 Caso 1

7.2.1.1 Flexión

Para la revisión se analizara la sección correspondiente al diámetro de la placa, como el espesor de la sección es de 10 cm, separados cada 10 cm y con un refuerzo de 3/8" cuya área es de 4.97 cm², en la parte superior e inferior, el momento resultante es el siguiente:

$$M_u = 119740.0 \text{ Kg x cm.}$$

Este momento es mucho menor al momento debido al servicio de la placa. Por lo tanto la sección no cumple con los requerimientos de flexión simple, para el camión H-20 de 15 ton por eje cuyo valor es:

$$M_s = 226674.0 \text{ Kg x cm}$$

7.2.1.2 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

$$V_u = 21157.50 \text{ kg.}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$P = 219.9 \text{ cm}$$

$$V_n = 21157.50 / (2199) = 9.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$$

El cortante perimetral no cumple con los requisitos mínimos exigidos por el NSR-98, debido a esto tendremos tres opciones: colocar refuerzo para cortante, aumentar la sección o aumentar la resistencia del concreto. De manera de información con un concreto de 350 kg/cm² el cortante perimetral si cumple.

Como información adicional y aplicando los programas desarrollados en Matlab, la tapa en estudio tiene una capacidad de resistir 11.4 ton. ; O sea que este tipo de elementos en el centro de Pereira tendrá una vida útil larga según la distribución de transito obtenida.

7.2 1.3 Adherencia

Como los asientos de las placas son de 5 cm, el espesor de 10 cm, menos los descuentos por recubrimiento, la longitud de anclaje de 18 cm (por construcción en la practica no se logran desarrollar), es necesario colocar una varilla perimetral soldada a la malla de las varillas de refuerzo del mismo diámetro a las demás.

Esta soldadura debe cumplir con las especificaciones del Titulo F del NSR-98.

7.2.2 Caso 2

7.2.2.1 Flexión

Para la revisión de la tapa se analiza los momentos del diagonal, correspondiente a una sección, con un ancho de 30 cm, un espesor de 8 cm y una varilla de refuerzo de 3/8". Este modelo en cruz es el que más se aproxima a la realidad para encontrar el momento resistente de la placa el cual es:

Para L = 70 cm; $M_u = 12672.00 \text{ Kg x cm}$

Para L = 50 cm; $M_u = 12672.00 \text{ Kg x cm}$

Estos momentos son hasta 20 veces menores al momento debido al servicio de la placa. Por lo tanto la sección no cumple con los requerimientos de flexión simple, para el camión H-20 de 15 ton por eje cuyo valor es:

Para L = 70 cm; $M_s = 261359.0 \text{ Kg x cm}$

Para L = 50 cm; $M_s = 186685.0 \text{ Kg x cm}$

7.2.2.2 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

Para L = 70 cm

$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$

H = 8 cm

P= 280 cm

$$V_n = 21157.50 / (2240) = 9.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2.$$

Para $L = 50 \text{ cm}$

$$V_n = 13.22 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$$

El cortante perimetral no cumple los requisitos mínimos exigidos por el NSR-98, debido a esto tendremos tres opciones: colocar refuerzo para cortante, aumentar la sección o aumentar la resistencia del concreto.

Como información adicional y aplicando los programas desarrollados en Matlab, las tapas en estudio tienen una capacidad de resistir una carga en el centro de 1 ton y 1.4 ton respectivamente, cumpliendo de esta manera los requisitos de cortante.

7.2.2.3 Adherencia

Como los asientos de las placas son de 5 cm, el espesor de 8 cm, menos los descuentos por recubrimiento, la longitud de anclaje de 18 cm por construcción en la práctica no se logran desarrollar, se recomienda colocar una varilla perimetral soldada a la malla de varillas de refuerzo del mismo diámetro a las demás.

Esta soldadura debe cumplir con las especificaciones del Título F del NSR-98.

7.2.3 Caso 3

7.2.3.1 Flexión

Para la revisión de las tapas se tomó como sección la longitud, espesor y el refuerzo total de la tapa de 4.97 cm^2 , y así obtener los momentos.

Para $L = 90 \text{ cm}$; $M_u = 122350.00 \text{ Kg} \times \text{cm}$

Para $L = 50 \text{ cm}$; $M_u = 115030.00 \text{ Kg} \times \text{cm}$

Estos momentos son menores al momento debido al servicio de la placa. Por lo tanto la sección no cumple con los requerimientos de flexión simple, para el camión H-20 de 15 ton por eje cuyo valor es:

Para L = 90 cm; $M_s = 336033.0 \text{ Kg x cm}$

Para L = 50 cm; $M_s = 186685.0 \text{ Kg x cm}$

7.2.3.2 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

Para L = 90 cm

$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$

H = 10 cm

P = 360 cm

$V_n = 21157.50 / (3600) = 5.87 \text{ kg/cm}^2$

$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$.

Para L = 50 cm

$V_n = 10.57 \text{ kg/cm}^2$

$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$

El cortante perimetral no cumple los requisitos mínimos exigidos por el NSR-98 en la tapa de 50 cm de longitud, pero en la de 90 cm de longitud si cumple, debido al primer caso tendremos tres opciones: colocar refuerzo para cortante, aumentar la sección o aumentar la resistencia del concreto.

Como información adicional y aplicando los programas desarrollados en Matlab, las tapas en estudio tienen una capacidad de resistir una carga en el centro máxima de 7.7 ton y 13.85 ton respectivamente; de esta manera si cumple los requisitos por cortante.

7.2.3.3 Adherencia

Como los asientos de las placas son de 5 cm, el espesor de 10 cm, menos los descuentos por recubrimiento, la longitud de anclaje de 18 cm por construcción en la práctica no se logran desarrollar, se recomienda colocar una varilla perimetral soldada a la malla de varillas de refuerzo del mismo diámetro a las demás.

Esta soldadura debe cumplir con las especificaciones del Título F del NSR-98.

7.2.4 Caso 4

7.2.4.1 Flexión

El caso a revisar es el mismo anterior, pero para zonas verdes, se tomó como la sección de la tapa, la totalidad de su longitud, y el espesor de esta. El refuerzo total del elemento es de 3.55 cm², obteniéndose los momentos aplicando el script en Matlab.

Para L = 90 cm; $M_u = 89263.00 \text{ Kg x cm}$

Para L = 50 cm; $M_u = 85526.00 \text{ Kg x cm}$

Estos momentos son menores al momento debido al servicio de la placa. Si consideramos para la zona verde como camión de diseño el H-20, como se muestra a continuación:

Para L = 70 cm; $M_s = 336033.0 \text{ Kg x cm}$

Para L = 50 cm; $M_s = 186685.0 \text{ Kg x cm}$

7.2.4.2 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

Para L = 90 cm

$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$

H = 10 cm

P = 360 cm

$V_n = 21157.50 / (3600) = 5.87 \text{ kg/cm}^2$

$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$.

Para $L = 50 \text{ cm}$

$V_n = 10.57 \text{ kg/cm}^2$

$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$

El cortante perimetral no cumple los requisitos mínimos exigidos por el NSR-98 en la tapa de 50 cm de longitud, pero en la de 90 cm de longitud si cumple, este análisis es valido si el camión de diseño es el H-20, pero se debe tener en cuenta que la tapa en estudio esta en zona verde, y las cargas de servicio a la cuál podrá estar sometida son de una cuantía menor.

Como información adicional y aplicando los programas desarrollados en Matlab, las tapas en estudio tienen una capacidad de resistir unas cargas en el centro máxima de 5.6 ton y 10.1 ton respectivamente; de esta manera si cumple los requisitos por cortante y se podría decir que para los propósitos de zona verde también.

7.2.4.3 Adherencia.

Como los asientos de las placas son de 5 cm, el espesor de 10 cm, menos los descuentos por recubrimiento, la longitud de anclaje de 18 cm por construcción en la practica no se logran desarrollar, es necesario colocar una varilla perimetral soldada a la malla de varillas de refuerzo del mismo diámetro de las demás.

Esta soldadura debe cumplir con las especificaciones del Titulo F del NSR-98.

7.2.5 Caso 5

7.2.5.1 Flexión

Para la revisión de esta tapa, el modelo a analizar corresponde a una cruz, con una sección de 30 cm de ancho por 10 cm de alto; mas un refuerzo de una varilla de 3/8" cuya área es de 0.71 cm^2 . Siendo el momento resistente el siguiente:

$$M_u = 18039.0 \text{ Kg} \times \text{cm}$$

Este momento es mucho menor al momento debido al servicio de la placa. Por lo tanto la sección no cumple con los requerimientos de flexión simple, para el camión H-20 de 15 ton por eje cuyo valor es:

$$M_s = 226674.0 \text{ Kg} \times \text{cm}$$

7.2.5.2 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

$$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$$

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$P = 219.9 \text{ cm}$$

$$V_n = 21157.50 / (2199) = 9.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 8.87 \text{ kg/cm}^2$$

El cortante perimetral no cumple los requisitos mínimos exigidos por el NSR-98 para el camión de diseño H-20, debido a esto tendremos tres opciones: colocar refuerzo para cortante, aumentar la sección o aumentar la resistencia del concreto. De manera de información con un concreto de 350 kg/cm^2 el cortante perimetral si cumple.

Como información adicional y aplicando los programas desarrollados en Matlab, la tapa en estudio tiene una capacidad de resistir 1.65 ton. ; O sea que este tipo de elementos en el centro de Pereira para vehículo liviano podría funcionar.

Además en la tabla 4 se muestra el resumen de los resultados comparativos de los momentos resistentes y de servicio de los elementos en estudio; observandose que las tapas en estudio cuando la carga es el camión H-20 son muy vulnerables.

DESCRIPCION	ESPEJOR (cm)	LONGITUD (cm)	Mmax servicio Kgxcn	Mmax resistente Kgxcn
Tapa figura 1	10	70	226674	119740
Tapa figura 2	8	70	261359	12672
	8	50	186685	12672
Tapa figura 3	10	50	186685	115030
	10	90	336033	122386
Tapa figura 4	10	50	186685	89263
	10	90	336033	85526
Tapa figura 5	10	70	226674	18039

Tabla 4. Comparación resultados momentos resistentes con momentos de servicio para el camión H-20.

8. RECOMENDACIÓN PARA EL DISEÑO DE TAPAS DE CAMARAS Y CAJAS DE INSPECCION

8.1 ANALISIS

En el diseño de tapas de cámaras y cajas de inspección para el análisis se recomienda los siguientes métodos que son de fácil uso y dan factores de seguridad aceptable: método mediante líneas de fluencia, método de las franjas para losas, y el método de la tira; estos métodos se encuentran en las referencias bibliográficas de este documento.

8.2 CAMION DE DISEÑO

Definido el método de análisis se debe establecer el camión de carga de diseño, a continuación doy algunas sugerencias según las experiencias obtenidas en la elaboración de este trabajo.

- Para vías urbanas la carga de diseño para los elementos en estudio debe ser el camión H-20, que tiene 15 t por eje.
- Para zonas verdes se recomienda como camión de diseño (H-20)/2.
- En tapas de cajas de inspección sobre andenes recomiendo como camión de diseño (H-20)/8.

8.3 ANCLAJE

Es importante atender las recomendaciones del capítulo 7 de Revisión de Estados Límites.

8.4 RESISTENCIA DEL REFUERZO Y DEL CONCRETO

En ningún momento el refuerzo debe ser menor de 4200 kg/cm², ya que este es corrugado, proporcionando mejores condiciones de anclaje y de adherencia. En cuanto a la resistencia del hormigón por el análisis sustentado en este documento sugiero como mínimo 350 Kg/cm².

8.5 EJEMPLO TAPA CASO 1

A continuación se diseña una tapa circular de 70 cm de diámetro, espesor 12 cm, $f'_c=350$ Kg/cm², $f_y=4200$ Kg/cm². El diseño se hará para zonas urbanas y zonas verdes.

8.5.1 Momento de servicio

Para el análisis se utiliza la teoría de la elasticidad y el camión de diseño será el H-20 para zonas urbanas y $\frac{H-20}{2}$ para zonas verdes

Momento zonas urbanas 226674 Kg x cm

Momento zonas verdes 113337 Kg x cm

8.5.2 Deflexiones

Las deflexiones son 0.0393 y 0.0197 cm respectivamente para zonas urbanas y zonas verdes. Cumpliendo con los requisitos del NSR- 98 ya que la deflexión máxima permisible es de 0.1944 cm.

8.5.3 Flexión simple

Para el momento ultimo de servicio de 226674 Kg/cm² el refuerzo necesario es:
Zona urbana. Se debe colocar solamente como refuerzo inferior 7 varillas de 1/2", separadas cada 10 cm, además no se debe olvidar del anillo perimetral de 1/2" soldado al refuerzo de la placa.

Zona verde. El momento ultimo de diseño es 113337 Kg/cm², colocándose únicamente como refuerzo inferior 5 varillas de 3/8", separadas cada 14 cm, además no se debe olvidar del anillo perimetral de 3/8" soldado al refuerzo de la placa, la soldadura debe cumplir el Titulo H del NSR-98.

Para la protección exterior se recomienda una platina de 4" x 1/8" como se muestra en la figura 5.

8.5.4 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

$$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$$

$$H = 12 \text{ cm}$$

$$P = 219.9 \text{ cm}$$

$$V_n = 21157.50 / (2638.8) = 8.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 9.92 \text{ kg/cm}^2$$

Si el cortante cumple para zonas urbanas, con mayor razón cumple para zonas verdes donde la carga se reduce a la mitad.

8.5.5 Adherencia.

Se deben cumplir con las especificaciones de NSR-98 Y se sugiere como alternativa de diseño como ya se dijo aquí el refuerzo perimetral.

8.6 EJEMPLO TAPA CASO 2

A continuación se diseña una tapa cuadrada de 90 cm de longitud, espesor 12 cm, $f'_c=350 \text{ Kg/cm}^2$, $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$. El diseño se hará para zonas urbanas y zonas verdes.

8.6.1 Momento de servicio

Para el análisis se utiliza el método de la banda finita y el camión de diseño será el H-20 para zonas urbanas y él (H-20)/2 para zonas verdes

Momento zonas urbanas 336033.0 Kg x cm

Momento zonas verdes 168012.0 Kg x cm

8.6.2 Deflexiones

Las deflexiones son 0.0695 y 0.0347 cm respectivamente para zonas urbanas y zonas verdes. Cumpliendo con los requisitos del NSR- 98 ya que la deflexión máxima permisible es de 0.25 cm.

8.6.3 Flexión simple

Para el momento ultimo de servicio de 336033 Kg/cm² el refuerzo necesario es:

Zona urbana. Se debe colocar solamente como refuerzo inferior 7 varilla de 5/8", separada cada 10 cm como se muestra en la figura, además no se debe olvidar del anillo perimetral de 5/8" soldado al refuerzo de la placa.

Zona verde. El momento ultimo de diseño es 168012 Kg/cm², colocándose únicamente como refuerzo inferior 5 varilla de 1/2", separada cada 14 cm como se muestra en la figura, además no se debe olvidar del anillo perimetral de 1/2" soldado al refuerzo de la placa, la soldadura debe cumplir el Titulo H del NSR-98.

8.6.4 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

$$V_u = 21157.50 \text{ Kg}$$

$$H = 12 \text{ cm}$$

$$P = 360 \text{ cm}$$

$$V_n = 21157.50 / (4320) = 4.89 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 9.92 \text{ kg/cm}^2$$

Si el cortante cumple para zonas urbanas, con mayor razón cumple para zonas verdes donde la carga se reduce a la mitad.

8.6.5 Adherencia.

Se deben cumplir con las especificaciones de NSR-98 Y se sugiere como alternativa de diseño como ya se dijo aquí el refuerzo perimetral.

8.7 EJEMPLO TAPA CASO 3

A continuación se diseña una tapa cuadrada de 70 cm de longitud, espesor 8 cm, $f'_c=350 \text{ Kg/cm}^2$, $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$. El diseño se hará para cajas de inspección en andenes

8.7.1 Momento de servicio

Para el análisis se utiliza el método de la banda finita y el camión de diseño será él (H-20)/8

Momento 32670 Kg x cm

8.7.2 Deflexiones

La deflexión es de 0.0177 cm. Cumpliendo con los requisitos del NSR- 98 ya que la deflexión máxima permisible es de 0.1944 cm.

8.7.3 Flexión simple

Para el momento ultimo de servicio de 32670 Kg/cm² el refuerzo inferior necesario es de 4 varilla de 3/8", separada cada 10 cm, además no se debe olvidar del anillo perimetral de 3/8" soldado al refuerzo de la placa, la soldadura debe cumplir los requisitos del Titulo H del NSR-98.

8.7.4 Cortante

En cortante se revisa la sección perimetral como se muestra a continuación:

$$V_u = 2644.7 \text{ Kg}$$

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

$$P = 280 \text{ cm}$$

$$V_n = 2644.7 / (2240) = 1.18 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_c = 9.92 \text{ kg/cm}^2 \text{ ok.}$$

8.7.5 Adherencia.

Se deben cumplir con las especificaciones de NSR-98 Y se sugiere como alternativa de diseño como ya se dijo aquí el refuerzo perimetral.

9 CONCLUSIONES

- En estudios en general de vulnerabilidad se debe hacer énfasis en la inspección y el informe preliminar en cuanto al personal a utilizar, equipo necesario, registro de datos, información verbal recibida durante la inspección, y análisis de datos. Del trabajo del campo realizado nació mi inquietud por la resistencia del hormigón a utilizar y la adherencia hormigón refuerzo.
- La mayoría de las tapas inspeccionadas en el centro de Pereira tenían poca resistencia a la abrasión. Por lo tanto se puede intuir por la anterior expuesto, y con la charla con el supervisor que fabrica las tapas de Aguas y Aguas de Pereira, que la resistencia de estos elementos en su mayoría no superan los 210 kg/cm².
- Para el camión de diseño H-20, las placas en estudio no cumple en general para estados límites últimos; se evidencia problemas graves en flexión, cortante, y adherencia del hormigón con el refuerzo.
- En cuanto a la adherencia hormigón refuerzo, el problema grave radica que la longitud de anclaje no cumple por: el espesor de los asientos, espesor de las tapas, diámetro de las varillas, ausencia de refuerzo de cortante. Siendo para mí la adherencia uno de los mecanismos de falla que más contribuye en el daño de estos elementos.

- La anterior afirmación la sustento porque en el trabajo de campo en el centro de Pereira, la distribución vehicular se compone de carros livianos y busetas, que nunca supera la capacidad resistente de las tapas y algunas estaban agrietadas.
- Otro de los mecanismos de falla que más contribuye al daño de las tapas en estudio, se debe a las cuantías altas de refuerzo, presentándose falla en el bloque de esfuerzos a compresión. Por lo tanto se recomienda que el concreto de éste tipo de elementos sea del orden de los 350 kg/cm², un espesor mínimo de 12 cm, y de esta manera evitar el agotamiento del hormigón.
- Se revisaron tapas de cajas de inspección sobre andenes, donde en su mayoría presenta el problema de desarrollo de palanca en la esquina, como se muestra en la fotografía 2, esto es debido a la mala distribución del refuerzo en la esquina, y que todavía existe la cultura de parqueo sobre los andenes.
- Para garantizar el buen comportamiento de las tapas, desde el punto de vista de las propiedades mecánicas del hormigón como: resistencia, abrasión, permeabilidad, intemperismo, estas deben ser fabricadas con mezclas prediseñadas y mezcladas mecánicamente, ejemplo, en Aguas y Aguas de Pereira, la mezcla es manual y se dosifica el material de grava y arena, a numero de palas.

10 RECOMENDACIONES

- Considero importante continuar estudiando el comportamiento de la adherencia, en ensayos de laboratorio y verificar diferentes modelos de anclaje, para el buen comportamiento a futuro de estos elementos.
- Se debe unificar criterio para el diseño de estos elementos en cuanto a la definición del camión de diseño, en mi concepto el camión de diseño H-20 de 15 t por eje, en zonas de tráfico pesado y liviano dentro la ciudad cumple con las expectativas económicas y de diseño.
- En cuanto a cajas de inspección sobre andenes se deben establecer criterios del eje de diseño, ya que si se diseña con el camión H-20, el costo de las tapas sería muy alto, con respecto a las tapas que se está construyendo en este momento.
- Es importante definir para el diseño de los elementos en estudio la resistencia del concreto mínima, para garantizar el buen comportamiento, a la abrasión, al intemperismo, corrosión, permeabilidad y durabilidad. Se recomienda establecer en la norma un mínimo de 350 Kg/cm².
- En la construcción de tapas para cámaras y cajas de inspección, se deben exigir todos los requisitos del Título C concreto estructural en cuanto a: material, requisitos de durabilidad, calidad del concreto, mezclado y colocación, formaletas y detalles del refuerzo.

11 BIBLIOGRAFIA

- 1 BILLINGTON DAVID P., Cascarones de Concreto, Princeton University.
- 2 CALAVERA J., Patología De Estructuras De Hormigón Armado y Pretensado, Intemac, Barcelona, 1996
- 3 CHANDRUPATLA Y BELEGUNDU, Introducción al Estudio Del Elemento Finito En Ingeniería, Prentice Hall, México, 1999.
- 4 ELLING McCORMAC, Análisis de Estructuras, Alfaomega, México, 1996.
- 5 GAYLORD CHARLES N., Estructuras de Concreto, McGRAW-HILL, México, 1993.
- 6 SANCHEZ DE GUZMAN DIEGO, Tecnología Del Concreto y El Mortero, Pontificia Universidad Javeriana, Santafe de Bogota, 1987.
- 7 MACGREGOR JAMES, Reinforced Concrete, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- 8 NILSON Y WINTER, Diseño de Estructuras De Concreto, McGRAW-HILL, Mexico, 1997.
- 9 NSR-98, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

10 OÑATE EUGENIO, Calculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos, Cimne, Barcelona, 1995.

11 TIMOSHENKO S. P., Theory of Elasticity, McGRAW-HILL, Singapore, 1970

12 TIMOSHENKO S. P., Theory of Plates and Shells, McGRAW-HILL, Tokyo ,1959

ANEXO 1

Script en MABLAT modelo de la banda finita

```
%diseño de placas por el método de la banda finita
H=10; %altura de la placa en centímetros
l=90; %longitud en centímetros
m=1;
v=0.20; %relación de poisson
fc=280; % en kg/cm2
e=3.193*3900*sqrt(fc); %en kg/cm2
n=e*h.^3/(12*(1-v.^2));
g=e/(2*(1+v));
dx=n;
dy=n;
dv=n;
d1=n*v;
dxy=(1-v)*n/2;
b=(1/26);
k=m.^2*pi.^2/l.^2;
A(1,1)=6*l*dx/b.^3+13*l*b*k.^2*dy/70+6*l*k*d1/(5*b)+12*l*k*dx
y/(5*b);
A(3,3)=A(1,1);
A(2,1)=-3*l*dx/b.^2-11*l*b.^2*k.^2*dy/420-3*l*k*d1/5-
l*k*dxy/5;
```

$$A(4,3) = 3 \cdot 1 \cdot dx / b \cdot ^2 + 11 \cdot 1 \cdot b \cdot ^2 \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 420 + 3 \cdot 1 \cdot k \cdot d1 / 5 + 1 \cdot k \cdot dxy / 5$$

$$A(3,1) = -6 \cdot 1 \cdot dx / b \cdot ^3 + 9 \cdot 1 \cdot b \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 140 - 6 \cdot 1 \cdot k \cdot d1 / (5 \cdot b) - 12 \cdot 1 \cdot k \cdot dxy / (5 \cdot b);$$

$$A(4,1) = -3 \cdot 1 \cdot dx / b \cdot ^2 + 13 \cdot 1 \cdot b \cdot ^2 \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 840 - 1 \cdot k \cdot d1 / 10 - 1 \cdot k \cdot dxy / 5;$$

$$A(3,2) = 3 \cdot 1 \cdot dx / b \cdot ^2 - 13 \cdot 1 \cdot b \cdot ^2 \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 840 + 1 \cdot k \cdot d1 / 10 + 1 \cdot k \cdot dxy / 5;$$

$$A(1,2) = A(2,1);$$

$$A(2,2) = 2 \cdot 1 \cdot dx / b + 1 \cdot b \cdot ^3 \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 210 + 2 \cdot 1 \cdot b \cdot k \cdot d1 / 15 + 4 \cdot 1 \cdot b \cdot k \cdot dxy / 15;$$

$$A(4,2) = 1 \cdot dx / b - 1 \cdot b \cdot ^3 \cdot k \cdot ^2 \cdot dy / 280 - 1 \cdot b \cdot k \cdot d1 / 30 - 1 \cdot b \cdot k \cdot dxy / 15;$$

$$A(1,3) = A(3,1);$$

$$A(2,3) = A(3,2);$$

$$A(1,4) = A(4,1);$$

$$A(2,4) = A(4,2);$$

$$A(3,4) = A(4,3);$$

$$A(4,4) = A(2,2);$$

`%matriz de rigidez de los elementos`

`kaa=[A(1,1) A(1,2);A(2,1) A(2,2)];`

`kba=[A(3,1) A(3,2);A(4,1) A(4,2)];`

`kab=[A(1,3) A(1,4);A(2,3) A(2,4)];`

`kbb=[A(3,3) A(3,4);A(4,3) A(4,4)];`

`koo=[0 0;0 0];`

`%ensamblaje matriz de rigidez de la estructura`

`k=[kaa kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo;`

`kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo`

`koo;`

`koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo`

`koo;`

`koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo`

`koo;`

koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo
koo;

koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo
koo;

koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo
koo;

koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo
koo;

koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo
koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo
koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo
koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab
koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa)
kab;

koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo kba kbb];

%MATRIZ DE GRADOS DE LIBERTAD LIBRES

A=[kaa kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo;

kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo koo;

koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo koo;

koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo koo;

koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo koo;

koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo koo;

koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo koo;

koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo koo;

koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo koo;

koo koo koo koo koo koo koo koo koo kba (kbb+kaa) kab koo;


```
D=[-U(3);U(2);-U(1);0];  
%MOMENTOS EN EL CENTRO DE LA PLACA  
M1=n*m2*D;  
MX=M1(1)  
MY=M1(2)  
%DEFORMADA DE LA PLACA  
plot(X,Y);  
grid on  
xlabel('LONGITUD DE LA PLACA EN CM');  
ylabel('FLECHA DE LA PLACA EN CM');  
title('DEFORMADA DE LA PLACA');
```

ANEXO 2

Solución en MATLAB placa circular con carga concentrada en el centro según la teoría de la elasticidad

```
%SOLUCION PLACA CIRCULAR CON CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO
fc=280;
e=3.193*3900*sqrt(fc); % en kg/cm2
t=10; %espesor de la placa en cm
v=0.2; %relación de poisson
a=35; %valor del radio de la placa circular en cm
p=21157.2; %valor de la carga en kg
D=e*t.^3/(12*(1-v.^2));
x=linspace(a,eps,5);
r=[x(1) x(2) x(3) x(4) x(5) x(4) x(3) x(2) x(1)];
z=linspace(0,2*a,9);
w=(p/(16*pi*D)).*((3+v).*(a.^2-
r.^2)./(1+v)+(2*r.^2.*log(r./a)))
Mmax=p/(4*pi)*((1+v)*log(a/(0.2*a))-(1-
v)*(0.2*a).^2/(4*a.^2))
plot(z,w)
grid on
xlabel('LONGITUD DE LA PLACA EN CM');
ylabel('FLECHA DE LA PLACA EN CM');
title('DEFORMADA DE LA PLACA');
```

ANEXO 3

Script MATLAB de análisis de elementos de hormigón reforzado sometidos a flexión.

```
%VIGA SIMPLEMENTE REFORZADA
B1=0.85;
fi=0.9;
b=.5; %ancho de la viga en metros
h1=.1; %altura de la viga en metros
AS=.71*5; % en cm2
fc=280; % en kg/cm2
fy=4200; %en kg/cm2
d=h1-.03;
rol=AS/(b*d*10000);
rolmin=14/fy;
if rol < rolmin,
fprintf('\n aumentar la sección de AS\n'),return;
end
if rol > rolmin, rolb=B1*0.85*fc*6000/(fy*(6000+fy));
z=0.75*rolb;
if rol > z,
fprintf('\n aumentar la sección 3\n'),return;
end
if rol < z, a=((AS*fy)/(0.85*fc*b*100))/100; % a en metros
Mu=fi*((AS*fy)*(d-a/2))*100, % en kgxcm.
end
end
```