



ING. CAMILO CASTILLA
Msc. Esp. Estructural

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL

**CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL
AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI –
CESAR.**

**Ingeniero Civil, Magister Estructural Camilo
Andrés Castilla González
MAT: 08202-299843 ATL**

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

MODIFICACIONES CON RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR



ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETO	5
3. GLOSARIO Y DEFINICIONES	6
4. NORMAS APLICABLES.....	7
5. LOCALIZACIÓN GENERAL	7
6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS	7
7. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	8
8. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN	8
8.1 DESCRIPCIÓN DE LESIONES.....	8
8.2 TIPO DE LESIONES	9
8.3 ELEMENTOS Y EQUIPOS	9
9. MARCO TEÓRICO DE LESIONES ENCONTRADAS	11
9.1 FISURAS Y GRIETAS	11
9.2 CORROSIÓN EN EL ACERO.....	13
9.3 CARBONATACIÓN EN EL CONCRETO	14
9.4 ESCÁNER DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN EL CONCRETO	15
9.5 PRUEBA DE ESCLERÓMETRO.....	15
9.6 PRUEBA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS EXTRAIDOS	16
10. ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE INFORMACIÓN EN CAMPO	16
11. CONCLUSIONES A LOS ENSAYO	23
12. VULNERABILIDAD SÍSMICA	24
13. MODELACION ESTRUCTURAL.....	24
14. CONCLUSIONES GENERALES DEL INFORME	28

ING. Msc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 4.1 Localización	7
Figura 4.1 Clasificación de lesiones	9
Figura 4.2 Cinta métrica	10
Figura 4.3 Fisurómetro	10
Figura 4.4 Taladro de extracción de núcleos	10
Figura 4.5 Esclerómetro	11
Figura 4.6 Escáner de refuerzo	11
Figura 5.1 Ancho de Fisuras razonables del hormigón bajo cargas de servicio según la	12
Figura 5.2 Valores máximos de fisuras.....	13
Figura 5.3 Celda electroquímica de corrosión de una barra de acero embebida en el concreto.....	14



ING. CAMILO CASTILLA
Msc. Esp. Estructural

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de vulnerabilidad y patología estructural está orientado a establecer el estado actual del CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR.. El estudio de vulnerabilidad y patología estructural sigue el método directo que involucra la inspección visual y técnica con los ensayos de rigor directo con sus respectivas normas estandarizadas que se requieran para evaluar la estructura utilizando ensayos no destructivos (NDT) y semidestructivos. Se realizará el diagnóstico de estas estructuras, a partir de su configuración estructural, uso, tipología, edad, sollicitaciones, materiales y deficiencias encontradas evaluando el estado de la estructura en que se encuentra actualmente.

El presente estudio de vulnerabilidad y patología está dividido en capítulos, planteando los procedimientos y metodologías aplicadas para determinar las condiciones reales en que se encuentra la estructura.

Estas estructuras a porticadas espacialmente, inspeccionadas y analizadas en este informe tienen como propósito tomar las cargas provenientes de la placa superior y transmitirlas a los estratos portantes. el Informe de vulnerabilidad y patología estructural, realizando un diagnóstico de la edificación existente, analizando brevemente su vulnerabilidad sísmica, acorde con los lineamientos del Reglamento Colombiano Sismoresistente NSR- 10.

2. OBJETO

Evaluar la vulnerabilidad y la revisión estructural dando las recomendaciones para rehabilitar o repotenciar el sistema estructural de edificaciones existentes diseñadas y construidas con anterioridad a la vigencia de la presente versión del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10), de tal forma que si se interviene siguiendo los requisitos aquí presentados la estructura debe ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y temblores fuertes sin colapso.

El objetivo principal de la presente evaluación es la valoración y calificación del estado de los elementos de concreto reforzado que conforman la estructura de la edificación. Determinar si la resistencia mecánica actual de los elementos permanece dentro de un margen de seguridad adecuado, que no ponga en riesgo el funcionamiento de la estructura

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

3. GLOSARIO Y DEFINICIONES

- ✓ **Alabeo.** Efecto que sufren los elementos (curvaturas) cuando son sometidos a cargas verticales excesivas para su esbeltez.
- ✓ **Carbonatación.** Proceso químico que afecta el pH básico del concreto por medio de la penetración del CO₂ del aire y agua en los poros de los elementos. El descenso del pH básico de la capa exterior del concreto lo inhabilita como medio protector del acero de refuerzo del elemento, este proceso se conoce como “despasivación” lo cual genera oxidaciones y corrosión en la armadura de refuerzo.
- ✓ **Colapso.** Pérdida de resistencia y estabilidad estructural de un elemento, provocando la incapacidad de su función.
- ✓ **Corrosión.** Fenómeno por el cual la superficie de los elementos de refuerzo metálicos se degrada, suele aparecer como consecuencia de un proceso de oxidación-reducción.
- ✓ **Deformaciones.** Procesos mecánicos generados por fuerzas en la estructura que afectan las características mecánicas de los elementos constructivos.
- ✓ **Desnivel.** Diferencia en el plano horizontal existente entre dos elementos ubicados en el mismo plano.
- ✓ **Desplome.** Perdida de verticalidad de un elemento, generalmente muros, al producirse un giro respecto a un eje vertical, puede deberse a cambios sustanciales en los materiales.
- ✓ **Desprendimiento.** Separación de material o sesión que compone un elemento.
- ✓ **Dilatación.** Separación entre la intercepción de dos elementos que conforman la estructura, producida generalmente por movimientos de la estructura.
- ✓ **Eflorescencias.** Cristales de sales que se depositan en la superficie de los elementos. Las sales son transportadas por el agua a través materiales porosos y depositadas en la superficie cuando el agua se evapora.
- ✓ **Erosión.** Desgaste producido en la superficie de los elementos por la acción de agentes externos ambientales, o por la fricción producida por el contacto con otro cuerpo.
- ✓ **Filtraciones.** Acceso de agua a través de huecos o grietas que normalmente dan lugar a manchas.
- ✓ **Fisuras.** Roturas que aparecen en la superficie de los elementos, debido a la existencia de esfuerzos excesivos en los elementos. Derivan de tensiones que desarrolla el material mismo, en el caso del concreto se presentan retracciones térmicas o hidráulicas que se manifiestan en superficies libres formando “fisuraciones en mapa”.
- ✓ **Grietas.** Abertura longitudinal de ancho superior a 1 mm, presente en un elemento sólido, producida por fenómenos de distribución de esfuerzos en la estructura o defectos del material.
- ✓ **Humedad.** Se define como la cantidad de agua que se encuentra en contacto o en el interior de un elemento afectando la calidad y la apariencia del mismo.
- ✓ **Humedad por capilaridad.** Se da cuando los materiales de la construcción absorben el agua de su entorno a través de los muros, la cual asciende por la red de capilares del elemento.
- ✓ **Organismos vivos.** Se refiere a los organismos vivos cuya interacción directa con la estructura afecta su funcionalidad, comportamiento o estética. Los hongos y mohos en la superficie de los elementos retienen la humedad produciendo manchas y pérdida de recubrimiento superficial. El crecimiento de plantas sobre la estructura puede llegar a deteriorar los elementos formando fisuras, grietas y desprendimiento de material.
- ✓ **Oxidación.** Reacción química producida por el oxígeno en contacto con elementos metálicos, que afecta las propiedades mecánicas de los mismos.
- ✓ **Retracción térmica.** Variación importante de la temperatura, en elementos de concreto, cuyo empotramiento impide movimientos de contracción, originando fuerzas de tracción en el elemento que da lugar a fisuraciones.

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

- ✓ **Rotura.** Daño generado sobre un elemento como consecuencia inmediata del agotamiento de la capacidad inmediata de deformación de este, cuando se encuentra sometido a fuerzas externas.
- ✓ **Suciedad.** Acumulación de partículas (generalmente polvo) sobre la superficie de los elementos, formando manchas que afectan la estética de la estructura.

4. NORMAS APLICABLES

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE NSR-10. AIS: Colombia, 2010.

5. LOCALIZACIÓN GENERAL

El HOSPITAL ALVARO RAMÍREZ GONZÁLEZ E.S.E , se localizan en el Municipio de San Martín, Departamento del Cesar, lo cual se puede observar en la siguiente imagen:

Figura 4.1 Localización



Fuente: Google Earth.

6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

La visita de campo se realizó el día 17 al 18 de octubre del 2023 por los profesionales a cargo de la inspección y realización de los estudios contratados.

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

Se procedió a realizar el reconocimiento de la estructura y realizar los ensayos de patologías correspondientes, donde se visualizó el estado de la estructura, por medio de regatas, extracción de núcleos, carbonatación, apiques de reconocimiento de cimentación, escáner de refuerzo y esclerometrías.

7. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se solicitó información de memorias y planos de diseño estructural o planos récord de construcción, en el hospital, pero no se presentaron, por lo cual se realizó la ficha de caracterización referente a la inspección visual efectuada.

8. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN

El estudio de vulnerabilidad y patología de la construcción contempla tres fases en el proceso de investigación, las cuales se describen a continuación:

- La fase de observación en campo permite realizar la inspección y reconocimiento, las condiciones ambientales y el estado actual de cada estructura.
- La fase de toma de datos deduce el estado actual de conservación y mantenimiento de la construcción identificando los procesos patológicos actuales en la estructura, los cuales se apoyan en un registro fotográfico. Esta fase contempla la elaboración de una serie de fichas de calificación del daño que determina el porcentaje de afectación según la tipología del proceso patológico en lesiones físicas, químicas y antropogénicas.
- La fase de muestreo determina la realización de ensayos de materiales de tipo destructivo y no destructivo, con el objetivo de evaluar las propiedades mecánicas de los materiales que conforman los elementos de la estructura.

Con la información obtenida, se hace una evaluación preliminar para determinar las causas de los procesos patológicos que alteran la funcionalidad y el comportamiento estructural de la edificación. De esta evaluación se generarán recomendaciones estructurales con el fin de mejorar la funcionalidad, la apariencia de edificación.

8.1 DESCRIPCIÓN DE LESIONES

La observación en campo permitió identificar las condiciones actuales de la estructura, su interacción con el medio ambiente además de desviaciones, sobrecargas y deformaciones en los elementos, esto se ve reflejado en daños visibles en la estructura.

La determinación y la clasificación de las lesiones se realizaron a partir de la tipología del proceso patológico detectado. A partir de un proceso de sistematización se permitió identificar el grado de compromiso de la estructura respecto a funcionalidad y aspecto.

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

8.2 TIPO DE LESIONES

Para determinar el nivel de daño en la estructura, se clasifica el origen de cada lesión de acuerdo con una tipología específica que origina el proceso patológico. La clasificación de las lesiones se agrupa de la siguiente forma:

Figura 4.1 Clasificación de lesiones

TIPO DE LESIÓN		
A) FÍSICAS Y MECÁNICAS	B) QUÍMICAS	C) ORGANISMOS VIVOS Y ANTROPOGÉNICAS
A.1 Aplastamiento	B.1 Corrosión	C.1 Descomposición
A.2 Asentamiento o movimiento	B.2 Daño del concreto y acero expuesto	C.2 Erosión y socavación
A.3 Bloque de cortante	B.3 Daño del concreto/Corrosión del refuerzo	C.3 Humedades
A.4 Corte	B.4 Deficiencias de soldadura	C.4 Infiltración
A.5 Excentricidades	B.5 Falta de remaches y/o pernos	C.5 Suciedad
A.6 Fisuras		C.6 Otros
A.7 Grietas		
A.8 Impacto		
A.9 Pandeo general		
A.10 Tensión		
A.11 Vibración excesiva		

Lesiones físicas y mecánicas: Son todas aquellas lesiones causadas por fenómenos físicos, donde predomina un factor mecánico que provoca movimientos, desgaste, abertura o separaciones de materiales o elementos constructivos.

Lesiones químicas: Son aquellas que se producen por un proceso patológico de carácter químico. El origen de este tipo de lesiones suele ocurrir por la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposiciones que afectan la integridad del material.

Lesiones por organismos vivos: Son todas aquellas lesiones causadas por la presencia de organismos vivos, que alteran o modifican el estado de los elementos, las más comunes son la erosión, la suciedad y la humedad.

Lesiones antropogénicas: Son todas aquellas lesiones causadas por los efectos, resultados o procesos que son consecuencia de acciones humanas. En las estructuras, este tipo de lesiones se da por el uso que les dan las personas.

Existen causas indirectas que provocan la aparición de procesos patológicos en los elementos, y se relacionan con los factores inherentes a las unidades constructivas, como la composición química, la forma o la disposición que se debe regularmente con un diseño defectuoso o una mala selección de los elementos.

8.3 ELEMENTOS Y EQUIPOS

Siguiendo el procedimiento estipulado se presenta a continuación el equipo necesario para adelantar la inspección de la estructura en estudio:

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

ELEMENTOS

- Cámara fotográfica preferiblemente digital y/o cámara de video.
- Binóculos, lupa.
- Cinta métrica y/o flexómetro.
- Comparador de fisuras o Fisurómetro de bolsillo.
- Linterna.
- Grabadora.
- Formatos de captura de información.
- Crayolas o marcadores para resaltar fisuras.
- Martillo, cincel.
- Escalera, andamios, etc.
- Elementos de seguridad y protección

Figura 4.2 Cinta métrica



Figura 4.3 Fisurómetro



Figura 4.4 Taladro de extracción de núcleos



ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

Figura 4.5 Esclerómetro



Figura 4.6 Escáner de refuerzo



9. MARCO TEÓRICO DE LESIONES ENCONTRADAS

A continuación, se relacionan los conceptos de las lesiones que se encontraron durante las inspecciones a la estructura. Estas lesiones tienen un origen que se considera procedente explicar en este numeral con el objeto de brindar una mayor precisión de los hallazgos referenciados más adelante en el presente informe.

9.1 FISURAS Y GRIETAS

Se detectaron fisuras grietas y fracturas que son evaluadas con el ACI 224.2R, la fisuración juega un papel importante en la respuesta del hormigón a las cargas, tanto en tracción como en compresión. Los primeros estudios del comportamiento microscópico del hormigón involucraban la respuesta del hormigón a ensayos de compresión. Estos trabajos tempranos mostraban que la respuesta tensión-deformación del hormigón está fuertemente asociada a la formación de microfisuras, es decir, fisuras que se forman en los bordes de los agregados gruesos (fisuras de adherencia) y se propagan a través del mortero circundante (fisuras en el mortero) (Hsu, Slate, Sturman y Winter, 1963; Shah y Winter, 1966; Slate y Matheus, 1967; Shah y Chandra, 1970; Shah y Slate, 1968; Meyers, Slate y Winter, 1969; Darwin y Slate, 1970).

Durante los primeros estudios sobre microfisuración se consideraba que el hormigón estaba compuesto por dos materiales lineales, elásticos y frágiles - pasta cementicia y agregados - y las microfisuras eran consideradas la principal causa del comportamiento no lineal de la relación tensión - deformación en compresión (Hsu, Slate,

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

Sturman y Winter, 1963; Shah y Winter, 1966). Este enfoque comenzó a cambiar en la década del 70. La pasta cementicia es un material de ablandamiento no lineal, al igual que el mortero constitutivo del hormigón. El comportamiento no lineal en compresión del hormigón depende fuertemente de la respuesta de estos dos materiales (Spooner, 1972; Spooner y Dougill, 1975; Spooner, Pomeroy y Dougill, 1976; Maher y Darwin, 1977; Chindaprasirt, 1980; Maher y Darwin, 1982).

Sin embargo, investigaciones realizadas indican que una parte significativa de la deformación no lineal de la pasta cementicia y el mortero es el resultado de la formación de microfisuras varios órdenes de magnitud menores que las observadas en los estudios originales (Attiogbe y Darwin, 1987, 1988). Para una misma deformación por compresión estas microfisuras más pequeñas tienen una densidad superficial dos o tres órdenes de magnitud más elevada que la densidad de las microfisuras de adherencia y en el mortero, y su descubrimiento representa un importante paso hacia la comprensión del comportamiento del hormigón y sus materiales componentes en compresión.

Las pautas que rigen la evaluación de fisuras se encuentran en el ACI 224.1R. La evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón para donde la fisuración del hormigón es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario, las reparaciones pueden durar poco. Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración.

Por tal motivo para la evaluación de la Fisuración y agrietamiento del concreto reforzado tomaremos el estudio del comité ACI-224R (American Concrete Institute) que define los parámetros de grietas de acuerdo con su condición de exposición en estructuras de concreto como se muestra en la siguiente tabla (ACI-224R Control de la fisuración en estructuras de Hormigón).

Figura 5.1 Ancho de Fisuras razonables del hormigón bajo cargas de servicio según la reglamentación ACI 224R

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

* Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

La norma Técnica Colombiana (NTC 5551) especifica los valores máximos de separación de fisuras como se muestra a continuación:

Figura 5.2 Valores máximos de fisuras

Tipo de Ambiente	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3	5,1	6,1	6,2	6,3	7
Separación máxima de fisuras (mm)	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6

Donde, los tipos de ambiente son:

- ✓ Tipo 1: Ningún riesgo de corrosión o ataque.
- ✓ Tipo 2,1: Corrosión inducida por carbonatación (humedad alta).
- ✓ Tipo 2,2: Corrosión inducida por carbonatación (humedad media).
- ✓ Tipo 2,3: Corrosión inducida por carbonatación (humedecimiento-secado).
- ✓ Tipo 3,1: Corrosión inducida por cloruros del agua de mar (aérea).
- ✓ Tipo 3,2: Corrosión inducida por cloruros del agua de mar (sumergida).
- ✓ Tipo 3,3: Corrosión inducida por cloruros del agua de mar (en zonas de mareas).
- ✓ Tipo 4,1: Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar (Humedad moderada).
- ✓ Tipo 4,2: Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar (Humedad).
- ✓ Tipo 4,3: Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar (Ciclos de humedecimiento y secado).
- ✓ Tipo 5,1: Ataque por hielo y deshielo.
- ✓ Tipo 6,1: Ataque químico (Débil).
- ✓ Tipo 6,2: Ataque químico (Medio).
- ✓ Tipo 6,3: Ataque químico (Fuerte).
- ✓ Tipo 7: Desgaste.

Cabe destacar que con escáner en sitio se verificó el recubrimiento del acero de refuerzo en todos los elementos estructurales y los resultados obtenidos se presentarán más adelante.

9.2 CORROSIÓN EN EL ACERO

Definiremos en este capítulo el daño por corrosión como degradación de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más puntual y general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales metálicos a base de hierro a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad o acidez del fluido en contacto con el metal, el contacto con el oxígeno y el agua, también dependerá de las propiedades de los metales que están incorporados en su aleación.

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

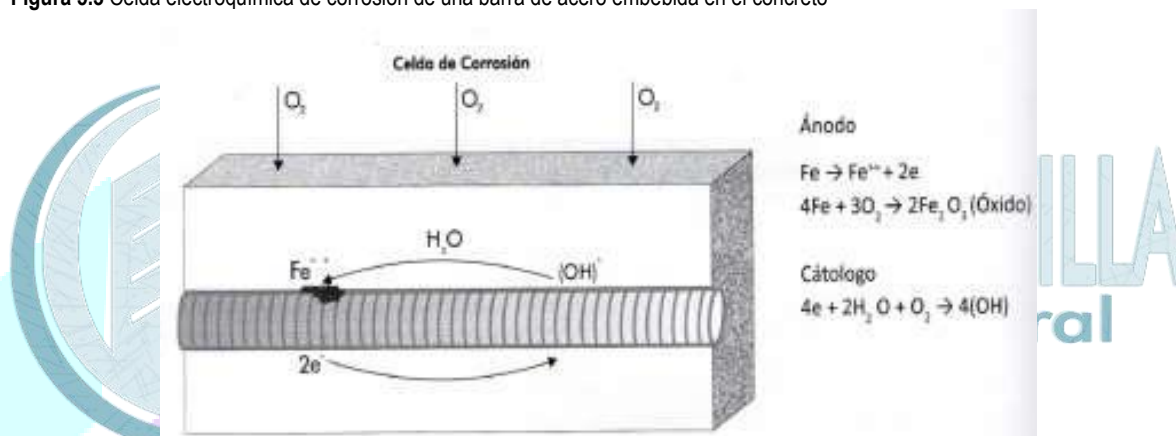
La corrosión puede ser mediante una reacción química (oxidorreducción) en la que intervienen tres factores principales: La composición o aleación de la pieza manufacturada de la estructura (Barras de Refuerzo). El ambiente donde se encuentre y el agua como elemento de degradación.

Por lo anterior se pueden producir dos tipos de corrosión, la corrosión química y la corrosión electroquímica, la primera “corrosión química” ocurre debido al ataque de sistemas no electrolíticos, como gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente eléctrica.

La segunda “corrosión electroquímica” es una reacción química que ocurre en un medio acuoso y en la que hay transferencia de electrones y iones, este es el caso que nos atañe en el acero de refuerzo embebido en el concreto.

La corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica como la que se aprecia a continuación

Figura 5.3 Celda electroquímica de corrosión de una barra de acero embebida en el concreto



El concreto en condiciones normales proporciona al acero embebido una protección adecuada contra la corrosión, el oxígeno presente en el concreto, reacciona con el acero formando una capa fina de óxido sobre el material de la armadura el cual se conoce como proceso de “Pasivación”, donde la película formada protege de cualquier efecto de corrosión posterior.

9.3 CARBONATACIÓN EN EL CONCRETO

Hay un factor esencial que se debe revisar en toda estructura de concreto reforzado es el fenómeno de Carbonatación, el concreto elaborado con cemento hidráulico, puede sufrir mediante su vida útil, una pérdida de (PH), debido al ataque químico del CO₂ (dióxido de carbono).

No solo el fenómeno se presenta en ciudades con alta contaminación o en parqueaderos sino en zonas aisladas de vegetación natural debido al ciclo del carbono, cabe destacar que el carbono es la unidad principal de la vida del planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos (Bolin y Sukumar, 2000). El carbono se almacena en compartimientos llamados “depósitos” y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos, son los que almacenan mayor cantidad con 38,000 Giga toneladas (Gt), seguido por el

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

suelo (1,500 Gt), la atmósfera (750 Gt) y las plantas (560 Gt). Cualquier desequilibrio entre los flujos de entrada y salida se refleja en la concentración del CO₂ atmosférico. La absorción del CO₂ atmosférico por las plantas a través de la fotosíntesis está en equilibrio con la respiración de las plantas y el suelo, por lo que en cualquier atmósfera no controlada del planeta existirá el fenómeno de carbonatación en el concreto.

Al estar el carbono disuelto en el agua y/o atmósfera este elemento ingresa por los capilares del concreto y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido de calcio del cemento generando como resultado carbonatos de calcio y baja la alcalinidad del concreto el cual reduce su valor de PH menor a 10, recordemos que el concreto debe tener un PH mayor a 12.5, como se especifica en la NCT-5551 (Durabilidad de Estructuras de Concreto), al bajar el PH trae como consecuencia una despasivación del acero con consecuencias de la exposición del acero de refuerzo con fenómenos corrosivos. El frente de carbonatación se localiza con la ayuda de una solución de fenolftaleína entre 1% al 5%, que da un color violeta al encontrar hidróxido de calcio (que es alcalino) midiendo su profundidad desde la parte superficial del elemento. Si el concreto se coloca de color violeta es porque el material no ha sufrido carbonatación y se encuentra en buenas condiciones químicas y de PH, pero si no cambia de color con el reactivo el material (concreto) hay un frente de carbonatación pronunciado, el cual debe medirse y obtener el frente de avance de la carbonatación

9.4 ESCÁNER DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN EL CONCRETO

Estas pruebas consisten en la obtención de la localización, diámetro y recubrimiento de la armadura de refuerzo, estimar un diámetro del refuerzo y garantizar que la extracción de los núcleos o regatas puntuales se hagan en sitios donde no se vea comprometida la estructura. Un manejo estadístico adecuado de la información obtenida puede disminuir en gran medida la cantidad de exploración destructiva en un proyecto de gran magnitud. Dentro de los parámetros importantes de durabilidad se verifica el recubrimiento mínimo que debe tener el acero en los elementos principales de la estructura y compararlos con los requerimientos de la norma, cabe destacar que es de suma importancia realizar este tipo de ensayo para evaluar las cuantías de acero en los elementos de concreto reforzado.

9.5 PRUEBA DE ESCLERÓMETRO

Estas pruebas se realizaron con un esclerómetro para control no destructivo del concreto siguiendo la norma ASTM-C 805, el cual nos permite estimar la resistencia a la compresión aproximada del concreto, basado en curvas de calibración con alta precisión, de igual forma se emplea para comparar la calidad del concreto entre diferentes áreas de la estructura.

Cabe destacar que las pruebas fueron realizadas con un esclerómetro, en el que la medición inherentemente es independiente de la dirección del impacto, lo que significa que no es necesario realizar correcciones al equipo por posición arrojando el valor verdadero a compresión del concreto en forma directa.

La prueba de esclerómetro consiste en una barra de acero (émbolo), la cual recibe el impacto de una pieza de acero impulsada por un resorte. Este impacto se transmite a la superficie de concreto y debido a la resistencia de este, la pieza rebota y su desplazamiento máximo es registrado en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento.

La zona de prueba debe tener por lo menos 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, para evitar lecturas erróneas debido a la elasticidad de la pieza. Todos los elementos sueltos deben fijarse rigidamente para efectuar la prueba. Deben elegirse las superficies de prueba de acuerdo a la representatividad del área por

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

evaluar, en función de su alta porosidad o textura rugosa. Cuando se desean comparar las características de dos elementos, estos deben tener aproximadamente la misma edad y condiciones de humedad, por lo que se procedió a realizar en campo esta comprobación.

Antes de la prueba deberá eliminarse de la superficie pintura, polvo o cualquier elemento no propio del concreto, que pueda afectar el índice de rebote. Cuando la superficie tenga irregularidades debidas a cimbras de madera no cepilladas, esta debe ser pulida con la piedra abrasiva hasta dejarla lisa. En concretos viejos, por consiguiente, excesivamente duros, se deberá quitar hasta unos 10 mm de la capa superficial, en lo que corresponde a una superficie para efectuar de 10 a 12 impactos con el esclerómetro y realizar una corrección por carbonatación, según el frente de avance.

9.6 PRUEBA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS EXTRAIDOS

Dentro del alcance de la patología estructural, se realizó extracción de núcleos a los concretos de las estructuras; cabe destacar que en extracciones realizadas se rompieron varios especímenes por la baja resistencia del concreto y gran porosidad encontrada.

10. ADQUISICIÓN Y REGISTRO DE INFORMACIÓN EN CAMPO

La vulnerabilidad de la edificación depende de diferentes factores involucrados tanto durante el proceso de construcción como durante su uso y ocupación, una mayor vulnerabilidad aumenta el riesgo de las edificaciones a sufrir daños, e incluso colapsar, ante la ocurrencia de eventos extremos como fenómenos de remoción en masa, inundación o sismos de mediana y gran magnitud. La falta de planificación urbana, los procesos de autoconstrucción, el desconocimiento de las normas de construcción, el elevado crecimiento demográfico y los desarrollos subnormales en áreas propensas a la acción de fenómenos inducidos aumentan los índices de vulnerabilidad de la estructura.

Variables implicadas como el sistema constructivo, el tipo de materiales, año de construcción, topografía, el entorno, los daños presentes, entre otras, permiten evaluar la vulnerabilidad física. Con base en estos factores, se determinará el grado de vulnerabilidad que se define como la susceptibilidad a sufrir daños estructurales en caso de un evento determinado.

El proceso para la toma de datos consta de los siguientes pasos:

1. Ingreso a la edificación.
2. Se diligencian datos iniciales como fecha de la evaluación, hora, dirección, nombre y edad de la construcción, para esto se recurre a información proporcionada por la persona encargada en la edificación.
3. Recorrido por la edificación y diagnostico visual por parte del evaluador.
4. Toma de fotografías como vistas generales, visuales del sistema estructural y patologías estructurales, si las hay.
5. Se realizan preguntas del predio según el instructivo del formulario.

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

6. Diligenciar la evaluación en el formulario de acuerdo con la metodología y el diagnóstico realizado en el paso 3.

Para la toma de adquisición y registro de información en campo se utiliza el formato de Vulnerabilidad Estructural (Ver Figura 1 a Figura 3), el cual consta de siete partes:

1. Identificador del formulario y fecha de toma de información
2. Identificación de la edificación.
3. Listado de Fotos.
4. Descripción del sistema estructural.
5. Evaluación y diagnóstico de daños.
6. Esquemas de detalle.
7. Comentarios y Observaciones.

El formato de Campo de Diagnóstico estructural e inspección visual se presenta a continuación

Propietario		E.S.E. HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI			
Dirección		CALLE 14 N° 8 – 67			
Ubicado		☒ Urbano		☐ Rural	
Pisos a reconocer		☒ Uno ☐ Dos ☐ o más		número de pisos	
Área total a reconocer		Antigüedad de la construcción		34	años 1990
CARACTERÍSTICAS DEL INMUEBLE					
Área	Predio total	2749	construcción	1705	
SISTEMA ESTRUCTURAL					
Concreto Reforzado		☐ Pantalla de concreto		☐ Prefabricado	
		☒ Pórtico de concreto		☐ Sistema dual	
Metálica		☐ Pórtico arriostrado		☐ Pórtico no arriostrado	
Madera	☐ Pórtico y panales en madera		☐ Pórtico y panales en madera y otros materiales		
Mampostería	☐ Confinada		☐ Reforzada		☒ Simple
Mixta	☐ combinación de dos o más materiales				
CIMENTACIÓN					
☐ Zapatas unidas por vigas		☐ Vigas sismo resistente		☐ Pilotes	☐ Otros
Descripción: NO VERIFICO					
LOSA ENTRE PISOS					
☐ Placa aligerada		☒ Placa maciza		☐ Placa prefabricada	☐ Otro
Descripción: En las áreas de corredores					
PISOS					
☐ Suelo		☒ Tablón Gres	☒ Cerámica	☒ Plantilla	☐ Otro
Descripción:					
MUROS					

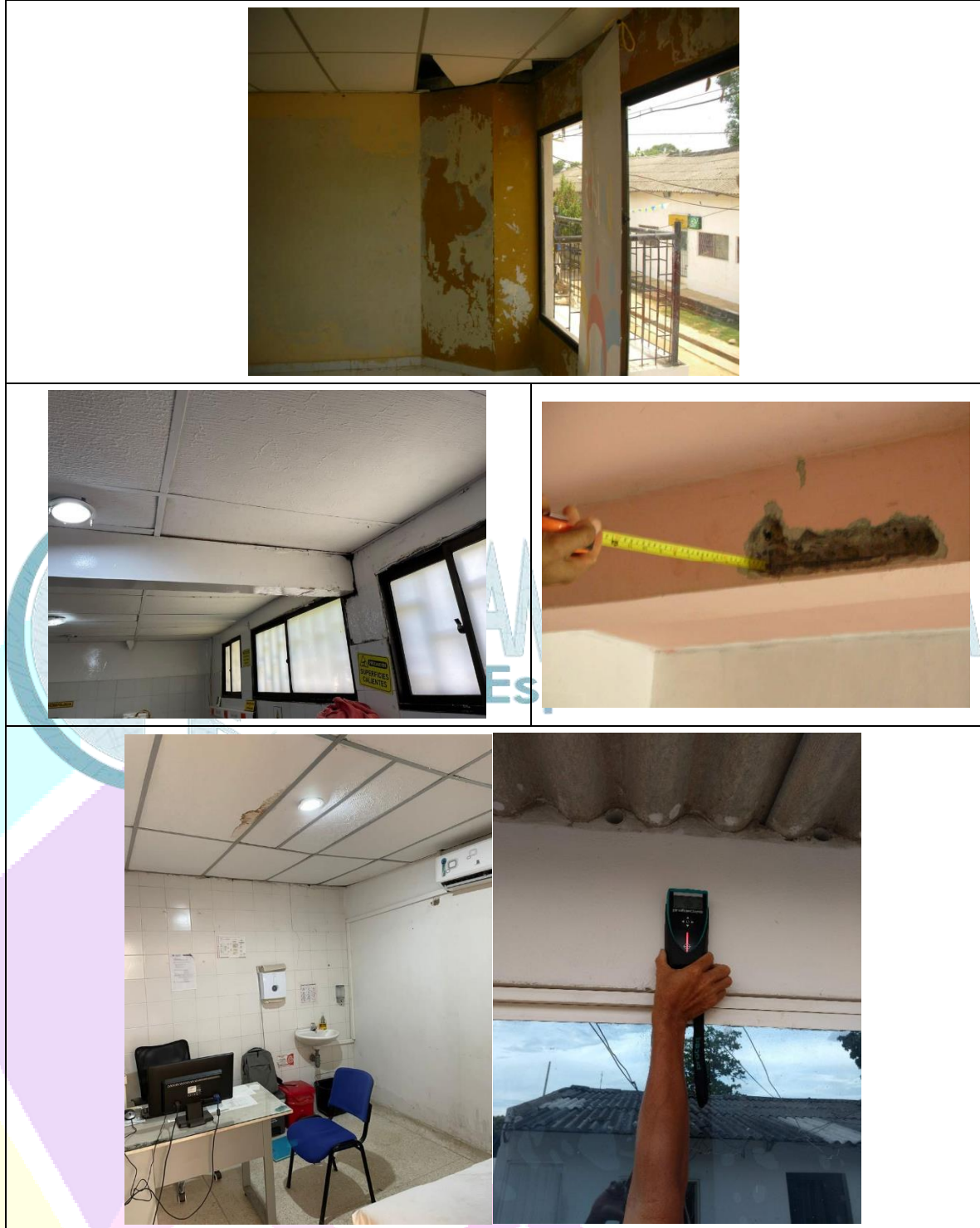
ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

☐ Pintura	☒ Pañete	☐ Fachaleta	☐ Ninguno	☐ Otro
Descripción: Muros en mal estado				
ACABADOS SOBRE MUROS				
☒ Ladrillo macizo	☐ Bloque de mortero	☐ Madera	☐ Adobe	☐ Otro
Descripción: Exterior graniplas				
VIGAS Y COLUMNAS				
☒ Vigas en concreto		☐ Viga metálicas		
☒ Columna concreto		☐ Columna metálica		
☐ Otros	Descripción:			
CUBIERTA				
☐ Placa aligerada		☐ Placa prefabricada		
☐ Placa maciza		☐ Inclínación liviana		
☒ Otros	Descripción: Cubierta de eternit			
ESTADO DE SISTEMA ESTRUCTURAL				
Calidad de la estructura		☐ Buena	☒ Regular	☐ Mala
LA EDIFICACIÓN REQUIERE				
☐ No intervención	☒ Reforzamiento parcial	☐ Reforzamiento total	☐ Demolición	

REGISTRO FOTOGRÁFICO	
El hospital fue construido en 1980, se hizo remodelación de la consulta externa en el año 2003, remodelación para la construcción del área de urgencias en el año 2008 y por último la construcción de la sala de parto 2015	
	

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
--	---	---

REGISTRO FOTOGRÁFICO



ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

REGISTRO FOTOGRÁFICO	
	
	

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

REGISTRO FOTOGRÁFICO	
	
	

Así mismo, los núcleos extraídos fueron llevados a laboratorio en donde se le realizó el correspondiente ensayo a compresión, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

En la fotografía anterior se puede visualizar la toma del ensayo de carbonatación.

Esta prueba fue realizada en los núcleos de concreto que se extrajeron de los elementos estructurales, con el propósito de contar con la profundidad de carbonatación y compararla con el recubrimiento libre promedio encontrado en la estructura.

Una vez comparada la profundidad de carbonatación con el recubrimiento se puede establecer si el refuerzo se encuentra o no, protegido por el concreto contra la corrosión.

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

A continuación, se presenta un resumen de los avances de carbonatación encontrados:

Carbonatación

Elemento	Avance (mm)
Núcleo 1	40
Núcleo 2	50
Núcleo 3	30

El promedio del frente de carbonatación encontrada fue de 40 mm y el promedio de los recubrimientos libres encontrados fue de 33 mm

Por lo anterior, si comparamos el frente carbonatado del concreto contra el recubrimiento libre, podemos concluir que actualmente el concreto no cuenta con la capacidad de proteger al acero de refuerzo; que es consistente con el nivel de corrosión encontrado en los aceros.

Por otro lado, y siguiendo las metodologías aceptadas para el cálculo de vida útil de una estructura, se procede a continuación a calcular los hitos en el tiempo de avance de la carbonatación, tenemos:

$$XCO_2 = KCO_2 \times \sqrt{t}$$

Donde:

XCO_2 = Espesor carbonatado

KCO_2 = Constante de carbonatación

t = Tiempo

MILO CASTILLA
sp. Estructural

Con la anterior formulación y basándonos en que la estructura tiene aproximadamente 25 años de construida, calculamos la constante de carbonatación:

$$KCO_2 = XCO_2 / \sqrt{t}$$

Tenemos que se tiene una constante de 8 mm/año.

Ahora con la constante, calculamos el tiempo en el cual el frente de carbonatación alcanzó el recubrimiento libre promedio encontrado en la estructura:

$$t = (XCO_2 / KCO_2)^2$$

Tenemos, de acuerdo con la formulación anterior, que a los 17,3 años el concreto dejó de proteger el refuerzo, por lo que la afectación de la corrosión sobre el acero de refuerzo ha estado presente aproximadamente por 8 años.

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

11. CONCLUSIONES A LOS ENSAYO

Una vez realizada la visita a la infraestructura física del **E.S.E. HOSPITAL** podemos concluir que:

El hospital fue construido en el año de 1980, se hizo remodelación de la consulta externa en el año 2003, remodelación para la construcción del área de urgencias en el año 2008 y por último la construcción de la sala de parto 2015.

- La estructura portante se conserva desde su construcción y no se encuentra registro o evidencia de reforzamiento estructural en el tiempo.
- La estructura portante de cubierta está compuesta por perfilería metálica de sección transversal rectangular y celosía conformada con varillas, en su estado actual la estructura presenta oxidación determinado por la falta de mantenimiento preventivo de las estructuras.
- En las habitaciones y oficinas inspeccionadas la cubierta de láminas de asbesto cemento se encuentran perforadas y agrietadas, y la que se conserva presenta un estado de deterioro toda vez que por su antigüedad ya ha cumplido su vida útil, lo que ocasiona filtraciones cuando se presentan lluvias además de un peligro inminente al momento de fuertes vientos.
- Se observó la existencia de muros portantes hechos en mampostería simple sin ningún tipo de refuerzo.
- Los muros en general presentan humedad y deterioro que afectan en gran manera la durabilidad de las estructuras y la disminución de la resistencia de estas. Además de algunas grietas que atraviesan la totalidad del espesor del muro y además no cumplen recomendaciones de la NSR10 respecto a los requerimientos de orden sísmico
- Los muros se encuentran en mal estado de pintura y pañete.
- Los pisos en general se encuentran en mal estado, agrietados, y con huecos, presentando un gran peligro para el personal médico y pacientes.
- No existen planos estructurales donde se pueda levantar la información detallada de la estructura y/o planos récord de la construcción.
- Se encontraron fisuras de espesor promedio de 1.8 mm en gran parte de la longitud de las columnas. Esta condición desde el punto de vista estructural, supera los límites admisibles para elementos de concreto reforzado.
- De acuerdo con las características principales de las fisuras, las cuales en su mayoría se encuentran de manera vertical en las zonas cercanas a las columnas, se infiere que el refuerzo al interior de estas se encuentra corroído y en proceso de expansión, por lo que expulsa el recubrimiento libre por los lugares más débiles de la sección de concreto que en este caso son las esquinas de las columnas.
- Desde el aspecto patológico se consideran estas lesiones como graves, que no son reparables, ya que por la cantidad de lesiones de este tipo es evidente que la estabilidad de la estructura está comprometida y se requiere del estudio estructural para determinar si es viable o no un reforzamiento.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede apreciar una gran dispersión entre las resistencias que fueron obtenidas, y teniendo en cuenta que una de las muestras no pudo ser fallada, ya que por su baja resistencia no se logró obtener un núcleo de las dimensiones adecuadas para la prueba, podemos concluir que este concreto cuenta con grandes falencias en su capacidad de carga, que debe

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

estar relacionado con el alto grado de avance de la corrosión del acero de refuerzo que probablemente ha inducido esfuerzos en las secciones de concreto.

12. VULNERABILIDAD SÍSMICA

El estudio se centra en el cumplimiento del Título A-10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 por ser los edificios de un piso una construcción existente antes de su vigencia.

Amenaza Sísmica, Metodología Del Estudio Y Análisis De La Incertidumbre

El Reglamento NSR-10 en su Apéndice A-4 establece que, para estructuras existentes, el estudio de vulnerabilidad se refiere a la comprobación de si el comportamiento de la estructura es satisfactorio a la luz del Reglamento vigente en el aspecto sísmico.

Con toda la información obtenida tanto en los planos estructurales como en los levantamientos y exploraciones adelantadas, se elaboró un modelo para la estructura actual, el cual se analizará para las fuerzas sísmicas F_s que el sismo de diseño imponga en combinación con las fuerzas de gravedad mayoradas de acuerdo con las combinaciones de cargas del Título B del Reglamento NSR-10.

Geometría: De la exploración estructural se obtuvieron datos acerca de las **dimensiones de elementos y refuerzo**, con el fin de compararlos con los planos existentes y de utilizarlos en el modelo estructural.

Análisis: Para el análisis sísmico de la estructura se siguió el método del **Análisis por fuerza horizontal equivalente** y se modeló la estructura como un sistema tridimensional con diafragma rígido.

Coefficiente de Importancia (I): Según el Reglamento NSR-10 se clasifican como **Grupo de Uso IV – Grupo IV. Edificaciones de atención a la comunidad**. Según la tabla A.2.5-1 del Reglamento NSR-10 le corresponde un **coeficiente de importancia $I=1.50$** .

Selección de la Resistencia de los Materiales para su uso en el Modelo Matemático de Análisis: Para seleccionar la resistencia del concreto de las columnas bloques de hormigón a usar en el modelo matemático de análisis teniendo en cuenta los resultados individuales, se seguirá el procedimiento establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. El valor usado para la resistencia del concreto fue de $f'_c=125 \text{ kg/cm}^2$ (**1800 psi**), para el acero el valor para el f_y fue de **2590 kg/cm² (37000 psi)**.

13. MODELACION ESTRUCTURAL

Se realizó una modelación en el software Modulo 5 de muros confinados, en donde se siguieron las recomendaciones dadas por el reglamento NSR-10 en el capítulo D-10, en cuanto a las dos (2) verificaciones que se realizan en elementos de mampostería. La primera se relaciona con la resistencia de la mampostería contra el aplastamiento del alma del muro debido a la fuerza axial actuante. La segunda verificación se realiza para los muros confinados donde se revisa si la resistencia a cortante de los elementos de confinamiento sea mayor a la solicitada.

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

Consideración Básica:
Los muros transmiten las cargas laterales hacia su cimentación a través de una biela de compresión

VERIFICACIONES

1) Verificación por Aplastamiento del Alma del Muro
Debe verificarse la resistencia de la mampostería contra el aplastamiento debido a P_{ud} (fuerza axial que actúa sobre la biela)

$P_{ud} = h' / L_w \cdot V_u$

$P_{ud} \leq (0.68 f_m A_{md}) (1 - (h' / 40 t)^3) \quad A_{md} = (h' / 5) t$

2) Verificación a Cortante en los Elementos de Confinamiento
La biela de compresión causa reacciones que producen cortantes en los elementos de confinamiento

En el elemento vertical:
 $V_{uc} = (L_c / 2 L_w) V_u \leq 0.6 V_{nc}$

En el elemento horizontal:
 $V_{uc} = (h_p / 2 L_w) V_u \leq 0.6 V_{nc}$

Revisión (Diseño) del Acero Longitud. de la Viga de Confinamiento
La componente horizontal de la biela de compresión causa tracción sobre el elemento horizontal de confinamiento

$P_{ut} = (-L_c / L_w) V_u \leq -0.7 F_y A_{st}$

Simbología
 f_m = Resistencia a la compresión de la Mampostería
 A_{md} = Área Efectiva de Mampostería para verificación por aplastamiento
 A_{st} = Área total delo acero de refuerzo longitudinal del elemento de confinam.
 h_p = Altura del piso localizado por encima del elemento bajo estudio, centro a centro, entre vigas de confinamiento

La complejidad del proceso constructivo, el tiempo de ejecución y apuntalamiento del edificio son otros factores que aumentan el costo y viabilidad de esta remodelación estructural. Lo anterior constituye una reconstrucción total de todos y cada uno de los elementos estructurales por lo que se hace más viable la sustitución total de los elementos estructurales del edificio (cubierta, losas, columnas y vigas), los cuales una vez sustituidos tendría la resistencia y rigidez exigida y requerida por la actual demanda y normativa sísmica vigente y se ajustaría a la remodelación arquitectónica requerida por la entidad y planteada para el funcionamiento.

Finalmente, sustentado en todo lo anterior y dada la vulnerabilidad integral de esta área, el incumplimiento de las normas sismo resistentes vigentes para edificaciones de uso indispensables, y al considerar el área y distribución arquitectónica actual insuficiente y la complejidad constructiva de una remodelación estructural o reforzamiento que obligaría a su reconstrucción total, nos parece que lo más sensato es proponer la sustitución de la estructura y utilizar el área de ocupación en la construcción de una estructura nueva de acuerdo con las condiciones arquitectónicas, ambientales, constructivas y normativas de diseño sismo resistente vigentes.

Se pudo constatar que la estructura del sistema de resistencia sísmico del área de administración no cumple en gran manera con los requerimientos mínimos del Reglamento de Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, para las condiciones de carga vertical y horizontal existentes, esto derivado de los índices de flexibilidad y resistencia calculados. Por lo cual se propone un reforzamiento puntal para darle cumplimiento con la norma NSR-10.

DISEÑO DEL MURO EN LA DIRECCION PARALELA AL MURO

Consideraciones Básicas:

- Método de Diseño: Estado Límite de Resistencia
- Alternativas de Procedimiento para el Diseño:

- 1) Resistencia a Flexo-compresión SIN tomar en cuenta la Mampostería
- 2) Resistencia a Flexo-compresión tomando en cuenta la Mampostería

Resistencia a Flexo-Compresión SIN aporte de la Mampostería

$$P_{uc} = A_c / A_{ct} \times P_u + \Delta P_u$$

$$P_{ut} = A_c / A_{ct} \times P_u - \Delta P_u \leq 0$$

donde

$$\Delta P_u = M_u A_c (X_i - X_r) / I_{ct}$$

$$I_{ct} = \sum A_c (X_i - X_r)^2$$

$$A_{ct} = \sum A_c$$

Si el muro tiene sólo dos columnas, iguales, las ecuaciones quedan:

$$P_{uc} = P_u / 2 + \Delta P_u$$

$$P_{ut} = P_u / 2 - \Delta P_u \leq 0$$

donde $\Delta P_u = M_u / L_w$

Resistencia a Flexo-Compresión CON aporte de la Mampostería

$$M_u \leq 0.7 M_n$$

M_n se obtiene de un diagrama de interacción que toma en cuenta la carga axial sobre el muro

Resistencia a Cortante

$$V_u \leq 0.5 (\sqrt{f_m / 12} + P_u / 3 / A_e) A_{mv} \leq 0.1 A_{mv} \sqrt{f_m}$$

Simbología

f_m = Resistencia a la compresión de la Mampostería
 A_{mv} = Área Efectiva del Muro
 A_c = Área de la sección de la columna de confinamiento
 A_{ct} = Área Total de las Columnas de confinamiento
 X_i = Dist de la col de confinamiento i al borde del muro
 X_r = Dist al borde del muro del centroide de las áreas de todas las columnas de confinamiento

De acuerdo a lo anterior, la estructura no se encuentra dentro del rango de rigidez permitido por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, ya que esta estructura fue construida antes de las actual vigentes normas se recomienda realizar unos reforzamientos puntuales, para dar cumplimiento al nuevo reglamento.

El índice de sobreesfuerzo de la estructura existente es mucho mayor que 1, se halló 1.16, por lo que la resistencia efectiva de los elementos que la componen no es suficiente para controlar las solicitaciones equivalentes, tanto verticales como horizontales.

Dadas las anteriores recomendaciones, se hace necesario evidenciar de una manera aproximada los costos de reforzamiento de las áreas ya que todas las áreas a intervenir serán modificadas para dar cumplimiento a la norma hospitalaria con lo cual se plantea un reforzamiento en algunos muros y construcción de un nuevo sistema para garantizar la estabilidad de las estructuras

DISEÑO DEL MURO EN LA DIRECCION PERPENDICULAR AL MURO

Consideraciones Básicas:

- El muro se diseñará para el efecto de las fuerzas horizontales (sismo por peso propio del muro y viento, la más crítica de las dos), además de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro

Resistencia a Flexo-Compresión

- Se ignora la contribución de la mampostería
- El ancho efectivo (b) es la dimensión del elemento vertical del elemento en la dirección del muro
- P_u = Dos veces la carga obtenida con base en el área de todo el muro

Resistencia a Cortante

- Cortante Último V_u
- Cortante Nominal de la sección V_n

$$V_u \leq 0.8 V_n$$

$$V_n = 1/6 A_m v_s q_r (f'_m)$$

Simbología

f'_m = Resistencia a la compresión de la Mampostería
 A_m = Área Efectiva del Muro

CARGA AXIAL PURA

Consideraciones Básicas:

- El muro se diseñará como si fuera homogéneo
- Como área de acero se considera el acero longitudinal del elemento de confinamiento

Elementos Verticales de Confinamiento

Resistencia Nominal a Compresión

$$P_{nc} = 0.8(0.85 f'_c (A_{cl} - A_{st}) + f_y A_{st})$$

Resistencia Nominal a Tensión

$$P_{nt} = - f_y A_{st}$$

Mampostería (sola)

Resistencia Nominal a Compresión

$$P_{nc} = 0.8(0.85 f'_m A_{md}) R_{ie}$$

Siendo R_{ie}

$$R_{ie} = 1 - (h'/40)^3$$

Simbología

f'_c = Resistencia a la compresión de los elementos de confinamiento
 A_{cl} = Área de la Sección de la Columna de confinamiento
 A_{st} = Área Total del Acero de Refuerzo Longi del Elemento de Conf
 f_y = Resistencia a la Fluencia del Acero de Refuerzo
 f'_m = Resistencia a la compresión de la Mampostería
 A_{md} = Área Efectiva de la Mampostería
 h' = Altura efectiva del elemento para evaluar pandeo
 t = Espesor efectivo del elemento para evaluar pandeo

Para el área 1 y 3, Acorde con el capítulo E de la NSR-10, se debe tener como mínimo:
Longitud mínima de muros confinados: L_{min} , Coeficiente $M_0 = 13$

t = Espesor efectivo del muro estructural = 140 mm
 A_p = Área de cubierta= 310 m² Aprox.
 $L_{min} = 29$ m

Longitud de muros confinados en dirección 1 es $L = 11.9$ m. NO CUMPLE
Longitud de muros confinados en dirección 2 es $L = 15.6$ m. NO CUMPLE

Por lo anterior la estructura no cumple con los índices mínimos de sobreesfuerzos

ING. MSc. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	--	--

exigidos por norma.

Acorde con el capítulo E de la NSR-10, se debe tener como mínimo:

Longitud mínima de muros confinados: L_{min} , Coeficiente $M0 = 13$

t = Espesor efectivo del muro estructural = 140 mm

A_p = Área de cubierta= 64 m² Aprox.

$L_{min} = 6$ m

Longitud de muros confinados en dirección 1 es $L = 8$ m. CUMPLE

Longitud de muros confinados en dirección 2 es $L = 8$ m. CUMPLE

14. CONCLUSIONES GENERALES DEL INFORME

La Norma de Sismo Resistencia en Colombia es un reglamento de construcción el cual ofrece una serie de instrucciones para hacer uso de ellas en el momento de llevar a cabo una construcción. El informe realizado se encuentran diferentes detalles constructivos los cuales no cumplen con la Norma, cada uno de ellos se nombra en el transcurso del informe.

según la NSR 10 la edificación hace parte del grupo IV Edificaciones de atención a la comunidad, en este grupo se encuentran todas las edificaciones las cuales son indispensables para atender a la comunidad después de un temblor. A.2.5.1.2 — Grupo IV— Edificaciones de atención a la comunidad — Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV. Este grupo debe incluir:

la edificación se ven ligado a tal riesgo sísmico, por lo mismo debe cumplir con lo nombrado en el capítulo A. 11.2.1 de la Norma de sismo resistencia, la estructura inspeccionada fue construida hace muchos y por consiguiente no cumple con los requisitos establecidos por la NSR-10.

Los procesos constructivos no han sido los más óptimos, se puede observar que cuando se ha realizado alguna intervención no se utiliza en método adecuado para hacerlo, Alguna parte de la estructura no cuenta con columnas, esto hace que el sistema estructural no se comporte de acuerdo a lo establecido en la NSR-10.

- Teniendo en cuenta los resultados anteriormente descritos del análisis de vulnerabilidad sísmica, se obtiene que la edificación tiene un índice de flexibilidad general igual a 1.42 e índice de sobre esfuerzo general de 2.61. De esta manera, la rigidez actual de la estructura se encuentra al 70 % de la requerida por la NSR – 10; y la resistencia global actual de la edificación está al 38 % de la requerida por la NSR -10
- Bajo condiciones de carga sísmica la capacidad de los elementos es superada considerablemente produciéndose así índices de flexibilidad superiores. El incremento excesivo en estos índices obtenidos proviene

ING. MsC. CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZÁLEZ	CONSTRUCCIÓN DE OBRA NUEVA DE LA E.S.E HOSPITAL AGUSTÍN CODAZZI DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI – CESAR	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO ESTRUCTURAL
---	---	--

- El concreto cuenta con grandes falencias en su capacidad de carga, que debe estar relacionado con el alto grado de avance de la corrosión del acero de refuerzo que probablemente ha inducido esfuerzos en las secciones de concreto.
- Según el análisis realizado el 71% de las edificaciones evaluadas están conformadas por pórticos de concreto y el 29% han sido desarrolladas como viviendas en mampostería confinada.
- El título A de la NSR-10 especifica que para aquellas edificaciones que se consideren como indispensables no es permitido definir su uso como un sistema de mampostería confinada, no es apta para prestar un adecuado servicio y debe replantearse su condición estructural.

Las conclusiones de este informe se basan en las investigaciones realizada a la edificación, las cuales son puntuales y por lo cual pueden presentarse casos que en condiciones especiales no fueran detectadas. De acuerdo a lo explicado de forma extensa en el presente documento, las condiciones de la edificación según la normativa, deben ser modificadas desde el punto de vista arquitectónico y estructural para darle cumplimiento a la exigencia de espacios y norma hospitalaria.

Finalmente, se puede concluir que para las aéreas se tomó la decisión teniendo en cuenta el cambio implementado por los diseños arquitectónico en el cual se hace una retribución de áreas y espacio para dar cumplimiento a la norma hospitalarias. No solamente está soportado por el incumplimiento actual de la edificación frente a los requerimientos de la NSR-10, por lo anterior se recomienda realizar construcción de estructuras nuevas. El costo de hacer un reforzamiento y adecuaciones de las áreas hace que el proyecto de reforzamiento sea más costoso que realizar una nueva construcción que cumpla con áreas según lo nuevos requerimiento por tal motivo se recomienda hacer construcción nueva en vez de hacer reforzamientos.

Atentamente,


CAMILO ANDRÉS CASTILLA GONZALES
Ing. Civil – MsC. Esp. Estructuras
C.C: 1.003.314.815 de Valledupar