

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE VIDA ÚTIL EN ESTRUCTURAS  
DE CONCRETO ARMADO AFECTADAS POR  
CORROSIÓN Y ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE  
AZANGARO 2015”**

**Presentado por**

**Bach. ABDON ARTURO YANQUI MACHACA**

**JULIACA – PERÚ**

**2015**

# ACTA DE SUSTENACION

## DEDICATORIA

A mi Dios, por darme las fuerzas necesarias para culminar una etapa mas en mi vida, y porque siempre esta conmigo a cada paso que doy.

A mis padres que son uno de los pilares de mi formación, porque supieron ayudarme en todo momento a llegar a una de mis metas.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero agradecer a mi creador, al TODOPODEROSO, por estar conmigo en todo momento y por brindarme su eterna sabiduría.

Agradecer también a mis padres, por el apoyo incondicional que me brindan, sea económicamente y moralmente.

Agradecer a la Universidad Alas Perunas, por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente.

A mis docentes, por brindarme sus conocimientos, y que también gracias a ellos voy cumpliendo una mas de mis metas.

## RESUMEN

La presente investigación, está orientada al estudio de las edificaciones de concreto armado, teniendo como punto de análisis el comportamiento del material, en el aspecto de corrosión y efectos del medio ambiente. Para el desarrollo de esta investigación, se manejaron diferentes modelos y cuadros comparativos de daños, vida útil del material, existencia de corrosión, elementos estructurales dañados, que se debe hacer en las inspecciones técnicas de edificaciones escogidas. En el desarrollo de la investigación, en el primer capítulo se estudia el planteamiento de la investigación en la vida útil de las estructuras, en donde se abarca el estudio de normas internacionales, así como los alcances de la patología y diversos comportamientos del concreto en los elementos estructurales de una edificación.

En el segundo capítulo se identifica la interacción entre la corrosión y el concreto, donde se muestra los diversos casos de estudios de la corrosión de la armadura en el concreto, así como, los factores y causales preliminares que conllevan al efecto negativo del concreto en el tiempo. En el tercer capítulo se desarrolla la descripción y desarrollo de la investigación, donde se explica los procedimientos y la inspección general en el cuarto capítulo se muestran los resultados de la investigación, luego de haber analizado las inspecciones en las 2 zonas en estudio, resaltando que se desarrolló una metodología de tablas y gráficos para comprender la realidad de las viviendas. Finalmente, en el último capítulo, se presentan las conclusiones generales y específicas de la investigación, así como las recomendaciones constructivas de acuerdo al contexto de la ciudad de Azangaro, teniendo la consideración principal que las estructuras deben de cumplir con los requerimientos exigidos en el país.

## ABSTRACT

This research is focused on the study of reinforced concrete buildings, with the point of the material behavior analysis in the aspect of corrosion and environmental effects. For the development of this research, different models and comparative tables of damage, life of the material for corrosion, damaged structural elements, should be done in technical inspections of selected buildings were handled. In the course of the investigation, in the first chapter the approach of research in the life of structures, where the study of international standards covering is studied, and the scope of pathology and different behaviors of concrete in the structural elements of a building.

In the second chapter the interaction between corrosion and concrete, where various case studies of reinforcement corrosion in concrete is shown and is identified and preliminary causal factors that lead to negative effect of concrete in the time. In the third chapter the description and research development, where procedures and general inspection in the fourth chapter describes the results of the investigation show, after analyzing the inspections in the 2 study areas develops, noting that methodology tables and charts was developed to understand the reality of housing. Finally, in the last chapter, the general and specific research findings and constructive recommendations according to the context of the city of Azangaro are presented, taking the main consideration that structures must meet the requirements demanded in the country.

## ÍNDICE PRINCIPAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>ÍNDICE PRINCIPAL</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE TABLA</b> .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
<b>SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	15
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	16
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>1.4 ALCANCES</b> .....	17
<b>1.5 LIMITACIONES</b> .....	18
<b>1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	18
<b>1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS</b> .....	18
1.7.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL .....	18
1.7.2 HIPÓTESIS DERIVADAS .....	19
<b>CAPÍTULO II</b> .....	20
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO</b> .....	20
2.1.1 GENERALIDADES .....	20
2.1.2 CONCEPTO DE DURABILIDAD DEL CONCRETO .....	20
2.1.3 MECANISMOS DE DAÑO .....	25
<b>2.2 PATOLOGÍA DEL CONCRETO</b> .....	27
2.2.1 GENERALIDADES .....	27
2.2.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE DE LA PATOLOGÍA DEL CONCRETO .....	28
2.2.3 FENÓMENOS DE ENVEJECIMIENTO Y DETERIORO .....	31
2.2.4 FALLAS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO .....	39
<b>2.3 ACCIONES FÍSICAS</b> .....	44
2.3.1 GENERALIDADÉS .....	44
2.3.2 PLANOS DE FALLA Y FISURAS EN EL CONCRETO .....	44
2.3.3 MOVIMIENTOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN .....	46
2.3.4 CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN ESTADO ENDURECIDO .....	47
<b>2.4 ACCIONES MECÁNICAS</b> .....	48
2.4.1 GENERALIDADÉS .....	48
2.4.2 CONCEPTOS BÁSICOS .....	49

2.4.3	EFFECTOS DE LAS CARGAS – FLUENCIA .....	50
2.4.4	SOBRECARGAS Y DEFORMACIONES IMPUESTAS .....	51
2.4.5	VIBRACIONES EXCESIVAS .....	65
<b>2.5</b>	<b>ACCIONES QUÍMICAS</b> .....	<b>65</b>
2.5.1	GENERALIDADÉS .....	65
2.5.2	ATAQUE DE ÁCIDOS .....	67
2.5.3	CARBONATACIÓN .....	68
2.5.4	ATAQUE DE SULFATOS.....	70
<b>2.6</b>	<b>ACCIONES BIOLÓGICAS</b> .....	<b>73</b>
2.6.1	GENERALIDADÉS .....	73
2.6.2	CONCEPTO DE BIORRECEPTIVIDAD .....	74
<b>2.7</b>	<b>CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO</b> .....	<b>76</b>
2.7.1	GENERALIDADÉS .....	76
2.7.2	EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN LOS METALES .....	77
2.7.3	FACTORES QUE INCIDEN EN LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	78
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>80</b>
<b>METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE EDIFICIOS</b> .....		<b>80</b>
<b>DE CONCRETO ARMADO</b> .....		<b>80</b>
<b>3.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>80</b>
<b>3.2</b>	<b>INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO</b> .....	<b>81</b>
3.2.1	ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA EN UNA INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO .....	82
3.2.2	SELECCIÓN DE RECURSO PARA LA INSPECCIÓN PRELIMINAR DE CONCRETO ARMADO .....	84
3.2.3	INSPECCIÓN VISUAL DE EL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO .....	84
<b>3.3</b>	<b>REPORTE TÉCNICO DE OBSERVACIONES</b> .....	<b>88</b>
3.3.1	GENERALIDADÉS.....	88
<b>3.4</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	<b>89</b>
<b>3.5</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>89</b>
<b>3.6</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO</b> .....	<b>89</b>
<b>3.7</b>	<b>PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>90</b>
<b>3.8</b>	<b>LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE EVALUACIÓN</b> .....	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>93</b>
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....		<b>93</b>
<b>4.1</b>	<b>EXPLICACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL</b> .....	<b>93</b>
<b>4.2</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CUADROS</b> .....	<b>93</b>
<b>4.3</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>112</b>
<b>4.4</b>	<b>COMPARATIVO FINAL</b> .....	<b>113</b>
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>114</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....		<b>114</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>114</b>



<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	114
5.2.1 ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO .....	115
5.2.2 DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO.....	115
5.2.3 DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN (REPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA)..	116
<b>5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	120
<b>ANEXOS</b> .....	121
<b>6.1 FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL</b> .....	122
<b>6.2 FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	128

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2. 1	RELACIÓN ENTRE CONCEPTOS DE DURABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO.....	22
Figura 2. 2	RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO Y EL CONCEPTO VIDA ÚTIL DE ESTRUCTURA REPOTENCIADA MEDIANTE MANTENIMIENTO O REHABILITACIÓN.....	25
Figura 2. 3	MODELO DE EQUILIBRIO DE DURABILIDAD DEL CONCRETO .....	26
Figura 2. 4	MODELO SECUENCIAL DE LOS PROCESOS QUE SIGUEN LA PATOLOGÍA DEL CONCRETO. ....	28
Figura 2. 5	SINTOMAS SUPERFICIALES DE DAÑOS ESTRUCTURA DE CONCRETO... ..	29
Figura 2. 6	FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA ORIGINAL DEL CONCRETO.... ..	31
Figura 2. 7	FORMACIÓN DE DEPÓSITOS SOBRE UNA FACHÁDA DE CONCRETO. ....	32
Figura 2. 8	MODELO DE RECUBRIMIENTO Y ABSORCIÓN DE AGUA SOBRE UNA SUPERFICIE VERTICAL DE CONCRETO.....	33
Figura 2. 9	FACHÁDA AFECTADA POR APARIENCIA EN ESCURRIMIENTO DIFERENCIAL DEL AGUA LLUVIA SOBRE SU SUPERFICIE.....	33
Figura 2. 10	FACHÁDA AFECTADA EN SU APARIENCIA POR PRESENCIA DE CULTIVOS BIOLÓGICOS DE ORIGEN VEGETAL.....	34
Figura 2. 11	EFLORESCENCIA.....	35
Figura 2. 12	CONCRETO METEORIZACIÓN EN SU CAPA SUPERFICIAL.....	36
Figura 2. 13	CONCRETO MANCHADO EN SUPERFICIAL.....	36
Figura 2. 14	ASPECTO DE UN CONCRETO DETERIORADO POR EXPANSIÓN DEBIDO A ATAQUES DE SULFATOS. ....	37
Figura 2. 15	ASPECTO DE UN CONCRETO DETERIORADO POR EXPANSIÓN.....	38
Figura 2. 16	CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO POR DESPASIVACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.....	38
Figura 2. 17	DEFORMACIÓN DEL CONCRETO .....	45
Figura 2. 18	TIEMPO DE OCURRENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FISURA. ...	45
Figura 2. 19	ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FISURAS.....	46
Figura 2. 20	FISURAS EN UNA LOSA DE CONCRETO, POR VIBRACIÓN DE LA BASE, DURANTE EL FRAGUADO DEL CONCRETO. ....	47
Figura 2. 21	GRIETAS CAPILARES O CUARTEADURAS EN UNA LOSA DE CONCRETO .....	48
Figura 2. 22	CURVA CARACTERÍSTICA DE FLUENCIA EN UN CONCRETO, ATRAVÉS DEL TIEMPO .....	50
Figura 2. 23	DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES DEL CONCRETO SIMPLE REFORZADO PRE ESFORZADO. ....	51
Figura 2. 24	TIPOS DE FISURAS Y GRIETAS ESTRUCTURALES.....	53
Figura 2. 25	GRIETAS DE TRACCIÓN PURA, CON INTERRUPCIÓN DE LA ADHERENCIA MECÁNICA ENTRE EL ACERO Y EL CONCRETO .....	54

Figura 2. 26	DETALLE DE LA VARIACIÓN DEL ANCHO DE GRIETA .....	54
Figura 2. 27	GRIETAS POR FLEXION Y TRACCIÓN DE ELEMENTO A ESFUERZOS DE FLEXIÓN. ....	55
Figura 2. 28	GRIETAS LONGITUDINALES POR FALTA DE ADHERENCIA. ....	56
Figura 2. 29	GRIETAS POR CORTANTE, FLEXIÓN Y TRACCIÓN DE VIGAS DE.....	57
Figura 2. 30	GRIETAS POR CORTANTE, FLEXIÓN Y TRACCIÓN A LARGO DE UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA. ....	58
Figura 2. 31	PATRÓN DE LAS GRIETAS POR TORSIÓN EN UNA VIGA PRISMÁTICA.....	58
Figura 2. 32	PATRÓN DE FALLA LOCAL POR APLASTAMIENTO DEBIDO A UNA CARGA CONCENTRADA EN UNA COLUMNA. ....	59
Figura 2. 33	PATRÓN DE FALLA POR CIZALLADURA EN UNA LOSA COMPUESTA DE CONCRETO. ....	60
Figura 2. 34	PATRÓN DE FALLA POR COMPRESIÓN SIMPLE EN UNA COLUMNA .....	61
Figura 2. 35	PATRÓN DE FRACTURA DE BORDE, POR RIGIDEZ DEL APOYO.....	62
Figura 2. 36	PATRÓN DE FRACTURA INDUCIDA POR EL RECUBRIMIENTO.....	63
Figura 2. 37	PATRÓN DE FRACTURA INADECUADO EN EL BORDE .....	63
Figura 2. 38	PATRÓN DE FALLA LOCAL POR APLASTAMIENTO DEBIDA A UNA CARGA CONCENTRADA EN UNA COLUMNA .....	64
Figura 2. 39	CARGA EN COLUMNA DE PARQUEO EJEMPLO DE DISPOSICIÓN DEL ACERO PARA CONTROL DE LA RETRACCIÓN Y LOS CAMBIOS DE VOLUMEN POR TEMPERATURA.....	64
Figura 2. 40	DETERIORO DEL CONCRETO POR REACCIONES QUÍMICAS.....	66
Figura 2. 41	MECANISMOS EN DETERIORO DE CONCRETO POR ATAQUE DE SULFATOS. ....	71
Figura 2. 42	CUADRO DE LAS CONDICIONES DE LA BIORRECEPTIVIDAD .....	74
Figura 2. 43	CELDA ELECTROQUÍMICA DE CORROSIÓN SOBRE VARILLA DE REFUERZO.. ....	78
Figura 2. 44	RELACIÓN APROXIMADA ENTRE EL PH Y LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN.....	79
 CAPITULO 3.		
Figura 3. 1	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO I – URB. VILLA FATIMA.....	91
Figura 3. 2	LOCALIZACIÓN DE LA EDIFICACION DE ESTUDIO I – URB. VILLA FATIMA.....	91
Figura 3. 3	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO II – URB. JUANA MARIA .....	92
Figura 3. 4	LOCALIZACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DE ESTUDIO II – URB. JUANA MARIA.....	92

## ÍNDICE DE TABLA

### CAPITULO 2

Tabla 2. 1	ACIDOS Y SUSTANCIAS DAÑINAS PARA EL CONCRETO .....	67
Tabla 2. 2	SALINIDAD DE DIFERENTES AGUAS .....	72

### CAPITULO 3

Tabla 3. 1	DIMENSIÓN DE LAS FISURAS.....	86
------------	-------------------------------	----

### CAPITULO 4

Tabla 4. 1	DATOS DE URB VILLA FATIMA. ....	94
Tabla 4. 2	CUADRO DE DAÑOS. ....	95
Tabla 4. 3	CUADRO DE EDADES. ....	96
Tabla 4. 4	CUADRO DE CORROSIÓN. ....	97
Tabla 4. 5	CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS.....	98
Tabla 4. 6	CUADRO DE COMPARACIÓN DE LOS MOMENTOS.....	100
Tabla 4. 7	DATOS DE URB. JUANA MARIA. ....	101
Tabla 4. 8	CUADRO DE DAÑOS. ....	102
Tabla 4. 9	CUADRO DE EDADES. ....	103
Tabla 4. 10	CUADRO DE CORROSIÓN. ....	104
Tabla 4. 11	CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS.....	105
Tabla 4. 12	CUADRO DE COMPARACIONES DE LOS MOMENTOS .....	107
Tabla 4. 13	DATOS COMPARATIVOS DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS. ....	108
Tabla 4. 14	DATOS COMPARATIVOS DE EDADES DE LAS VIVIENDAS. ....	109
Tabla 4. 15	DATOS COMPARATIVOS DE CORROSIÓN DE LAS VIVIENDAS .....	110
Tabla 4. 16	DATOS COMPARATIVOS DE ELEMENTOS DAÑADOS DE LAS VIVIENDAS.....	111

## INTRODUCCIÓN

La durabilidad de las estructuras de concreto armado hasta asociados a los procesos de cada elemento estructural. Las excepcionales virtudes del concreto armado como material de construcción, determinaron a fines del siglo pasado y principios del presente, una rápida expansión en su utilización.

El volumen, pero sobre todo la variedad y el aspecto de las obras en concreto armado, generó una tecnología en permanente transformación, que acumula un aporte considerable de ingenio y éste a su vez, una industria de equipos, tanto para la fabricación como para la colocación en sitio del concreto y su armadura, en continuo desarrollo y de amplia incidencia en la economía mundial. Como material de construcción, se pensó que el concreto podría tener una duración ilimitada.

Sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo.

Esta corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de iones cloruro que penetran desde el exterior por difusión o porque fueron incorporados a la mezcla de concreto y/o a la carbonatación del recubrimiento del concreto.

La corrosión en la armadura del concreto es un área claramente interdisciplinaria donde la química, en especial la electroquímica y la cinética tienen un papel principal. La indicación elocuente de la importancia del tema, se manifiesta en el creciente número de artículos especializados en revistas científico – técnicas, en la aparición de nuevas empresas orientadas a los trabajos en monitoreo del medio ambiente y la medición de las características relevantes del concreto para definir su respuesta al fenómeno de corrosión. La búsqueda de una metodología precisa que conduzca a una respuesta acertada sobre las causas de la corrosión es un objetivo de la investigación en la materia.

Los especialistas señalan la importancia de un correcto diagnóstico existiendo el riesgo de que intervenciones incorrectas reduzcan la durabilidad que tiene la estructura primitiva. Consideraciones de orden técnico y económico determinan las medidas a tomar. La diversidad de procedimientos y productos ofrecidos en el mercado constituye todavía un amplio campo de investigación a partir de los fundamentos teóricos y de los resultados obtenidos en los casos que han sido aplicados. La velocidad real de la corrosión del concreto no ha podido determinarse hoy en día, porque la intensidad de los procesos de corrosión en la naturaleza dependen de una serie de condiciones no conocidas suficientemente. Por otro lado, lo tardío de los síntomas y efectos hace que normalmente no se tomen precauciones del caso. La presencia de sulfatos o cloruros en el agua, sino también éstos pueden estar presentes en los agregados incluso en los suelos de sustentación de las estructuras, tal es el caso de los suelos arenosos, encontrándose el concreto expuesto a diferentes tipos de ataques naturales o químicos.

Estas y muchas apreciaciones nos motivan a realizar una investigación exhaustiva acerca de los efectos que produce el fenómeno de la corrosión junto a sus diversos agentes corrosivos, por todo esto es de mucha responsabilidad la participación del ingeniero civil, debiendo tomar así, conciencia de la importancia de este fenómeno, para el beneficio sostenido en el desarrollo de nuestro país para calcular la vida útil es necesario diferenciar dos fases de la corrosión y determinar el desgaste del concreto.

El periodo de iniciación, que es el tiempo necesario para que los agentes agresivos actúan en las armaduras, y el tiempo de propagación, que corresponde con la fase de corrosión activa del acero (una vez se produce el deterioro de la protección) la vida útil será el resultado de la suma del tiempo inicial y el tiempo de propagación. Existen diversos criterios para establecer el grado de deterioro admisible en la estructura de concreto armado.

## CAPÍTULO I

### SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto ha sido uno de los principales materiales utilizados en la construcción, basta recorrer las calles de nuestro país para observar que la gran mayoría de infraestructura física que existe tales como centros comerciales, viviendas, vías terrestres, puentes, muelles, hospitales, plazas, aeropuertos etc. están basadas en “concreto armado” no se pueden construir obras sin pensar en la durabilidad de las mismas.

En nuestro país no cuenta con un instrumento para la evaluación de los daños por durabilidad provocados en edificaciones de concreto armado, se nos ha tomado a bien elaborar dicho instrumentos. Debido a que las estructuras de concreto simple o armado están expuestas no solamente a la acción mecánica de las cargas de servicio, sino también, a otros factores que tienden a deteriorarlas y destruirlas como acciones físicas (cambios bruscos de temperatura y humedad); algunas veces a agresiones de carácter químico o biológico; y eventualmente a otras acciones mecánicas, se hace indispensable dar a conocer este estudio para poder contrarrestar dichas acciones para que se pueda prolongar la vida de una estructura.

Las estructuras de concreto son regularmente consideradas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en las últimas tres décadas, se ha observado un incremento en agrietamientos y delaminaciones de elementos de concreto relacionados con la corrosión del acero en el ámbito mundial. La interacción del concreto para con el acero de refuerzo (o pre-esfuerzo) se basa en que el concreto provee al refuerzo una protección tanto química como física en contra de la corrosión.

La protección química se debe a la alcalinidad del concreto, la cual produce una capa de óxido (del orden de un par de nanómetros) en la superficie del acero impidiendo que el acero continúe corroyéndose. A este fenómeno se le denomina pasividad, ya que la capa de óxido evita la propagación de la corrosión del acero y las fallas en el concreto. Esta alcalinidad del concreto, es debida principalmente al hidróxido de calcio (CH) que se forma durante la hidratación de los silicatos (C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF) del cemento y a los álcalis (sodio y potasio), que pueden estar incorporados como sulfatos en el clinker.

Estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros del

concreto en valores entre 12,6 y 14, es decir, en el extremo más alcalino de la escala de pH. El concreto también funciona como una capa física protectora en contra de los agentes ambientales (oxígeno, agua, cloruros, dióxido de carbono) que puedan despasivar al acero e iniciar su corrosión.

Sin embargo los iones cloruro del agua se acumulan en la superficie del concreto y lentamente se transportan a través del recubrimiento de concreto hasta llegar al acero. Cuando la concentración de los iones cloruro en la superficie del acero que alcanza valores que exceden un nivel crítico (denominado en este reporte), la protección del acero corre el peligro de desaparecer y la corrosión puede desencadenarse.

Cuando el acero embebido en concreto se corroe, se reduce la sección de la barra de refuerzo de acero, ya que el fierro contenido en el acero reacciona con el oxígeno presente y se forma una capa de productos de corrosión (óxido o hidróxido de fierro) en el perímetro de la barra.

El volumen ocupado por dicho óxido (o hidróxido) es mayor que el que ocupaba el acero original creando presiones contra el concreto, que rodea al acero, esto propiciando la formación de grietas y desprendimientos del concreto. Estas grietas y/o desprendimientos del recubrimiento de concreto además de ser antiestéticas, pueden disminuir el anclaje del acero y, potencialmente, la resistencia del elemento estructural.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Según el reglamento ACI 318-2005 en el capítulo 2 el término de durabilidad se refiere a la capacidad del concreto de resistir los deterioros provocados por medio ambiente o por las condiciones de servicio para las cuales lo utiliza. El concreto correctamente diseñado y construido debe ser capaz de satisfacer la función para la cual fue pensado sin sufrir deterioros importantes durante su vida útil.

Los ingredientes y la dosificación del concreto se deben seleccionar de manera tal de satisfacer los requisitos mínimos establecidos en el código y los requisitos adicionales indicados en la documentación técnica. Dividiendo la vida útil de una estructura en cuatro fase tenemos:

Fase "A": Periodo de proyecto y construcción de una estructura.

Fase "B": Inicialización de deterioro, los daños no se han propagado.

Fase "C": El deterioro se ha iniciado y empieza a ser notorio.

Fase "D": Avanzado estado de propagación y deterioro y extensión de daños.

Los costos relativos a invertir en una estructura en cada fase anterior podríamos relacionarlos de la siguiente manera:



Fase "A": X

Fase "B": 5 (X)

Fase "C": 5 (5X)

Fase "D": 5 (25X)

El mensaje es claro rehabilitar una estructura en una fase "D" resultaría demasiado caro y engorroso para el propietario. Al tener un instrumento que nos ayude a evaluar el concreto, basados en una descripción de los daños, los posibles orígenes; prevención de los mismos estamos contribuyendo a que los propósitos con que fueron diseñadas y ejecutadas dichas obras se cumplan ya que estamos prolongando la vida útil de la infraestructura, a un costo razonable debida a una intervención oportuna por lo tanto los beneficiarios son todos, el propietario tendrá un infraestructura con una vida útil mayor, posiblemente en una fase donde todavía resulte económicamente viable su reparación sin necesidad de hacer una gran inversión si se compara con los costos que generaría si se construyera una nueva, el usuario final porque gozará de mayor tiempo los beneficios que brinda dicha estructura.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la vida útil del concreto armado debido a los daños en las estructurales en las viviendas por acción de corrosión y medio ambiente.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudiar las causas que originan los daños estructurales en las viviendas.
- Evaluar los efectos que influyen en la durabilidad del concreto armado de las estructuras en estudio.
- Comparar la durabilidad del concreto armado con las características del ambiente agresivo.
- Determinar las medidas preventivas necesarias para evitar o postergar al máximo la corrosión.

### **1.4 ALCANCES**

- Elaboración de una guía para la evaluación y diagnostico de daños en edificaciones de concreto armado sometidos a cargas estáticas.

- El estudio abarca solamente edificaciones a base de marcos de concreto armado colados in situ.
- La evaluación y diagnóstico de daños en edificaciones de concreto armado se verá desde el punto de vista de la durabilidad y los agentes que le afectan a esta, en ambientes que se pueden desarrollar en nuestro país (Perú).

## **1.5 LIMITACIONES**

Estudios locales de evaluación y diagnóstico de daños por durabilidad en edificios de concreto armado es escasa, existiendo solamente literatura técnica general del tema en entidades de prestigio como ASTM, ACI.

## **1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la realización de la investigación es necesario elaborar una metodología, la cual indica de manera secuencial las etapas a seguir para obtener los objetivos propuestos.

De acuerdo al enfoque que comprende el desarrollo de este trabajo de investigación, la metodología más apropiada es:

- Recolección de información consiste:
  - Visita a bibliotecas (ASIA, ISCYC), virtuales tales como ASOCRETO (asociación colombiana del concreto)
  - Entrevistas a consultores especializados en la materia
  - Adquisición de material bibliográfico

Nota: en esta etapa incluye la clasificación y depuración de la información obtenida.
- Análisis de oficina con toda la información bibliográfica y de campo realizada se procede a lo siguiente:
  - Ordenamiento de la información
  - Proceso de la investigación
  - Análisis de la investigación
  - Propuestas de solución
  - Conclusiones y recomendaciones

## **1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **1.7.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL**

- la corrosión y acciones del medio ambiente afectan significativamente la vida útil de estructuras de concreto armado - Azangaro 2015

### **1.7.2 HIPÓTESIS DERIVADAS**

- Las características de la estructura será modificada al determinar las causas que influyen en la durabilidad.
- La durabilidad de la estructura y los efectos del concreto armado podrá ser mejorado por motivos de estudios.
- La Resistencia del concreto sera afectadas considerablemente por agentes climatológicos y de corrosión.
- Prevenir la corrosión del acero mejoraría significativamente la vida útil de la estructura.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO

##### 2.1.1 GENERALIDADES

Las estructuras de concreto simple o armado, generalmente son diseñadas y construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de comportamiento, de estabilidad, y de seguridad, durante un cierto periodo de tiempo, sin que se generen costos inesperados por mantenimiento o reparación, Este periodo de tiempo constituye la vida prevista o vida proyectada en servicio. Normalmente, para edificaciones convencionales este periodo de tiempo puede ser de 50 años, Sin embargo, para obras de infraestructura, algunas recomendaciones estipulan hasta 100 años o más. Lo anterior, no implica necesariamente que al cumplirse el periodo de vida en servicio, la estructura deba ser demolida; sino que el costo de su mantenimiento para garantizar las condiciones originales hacia el futuro, es probable que se incremente por encima del que se considera apropiado durante la vida prevista en proyecto.

Por ello, al cabo de la vida de servicio debe estudiarse si el futuro costo de mantenimiento está razonablemente justificado (técnica y económicamente).

##### 2.1.2 CONCEPTO DE DURABILIDAD DEL CONCRETO

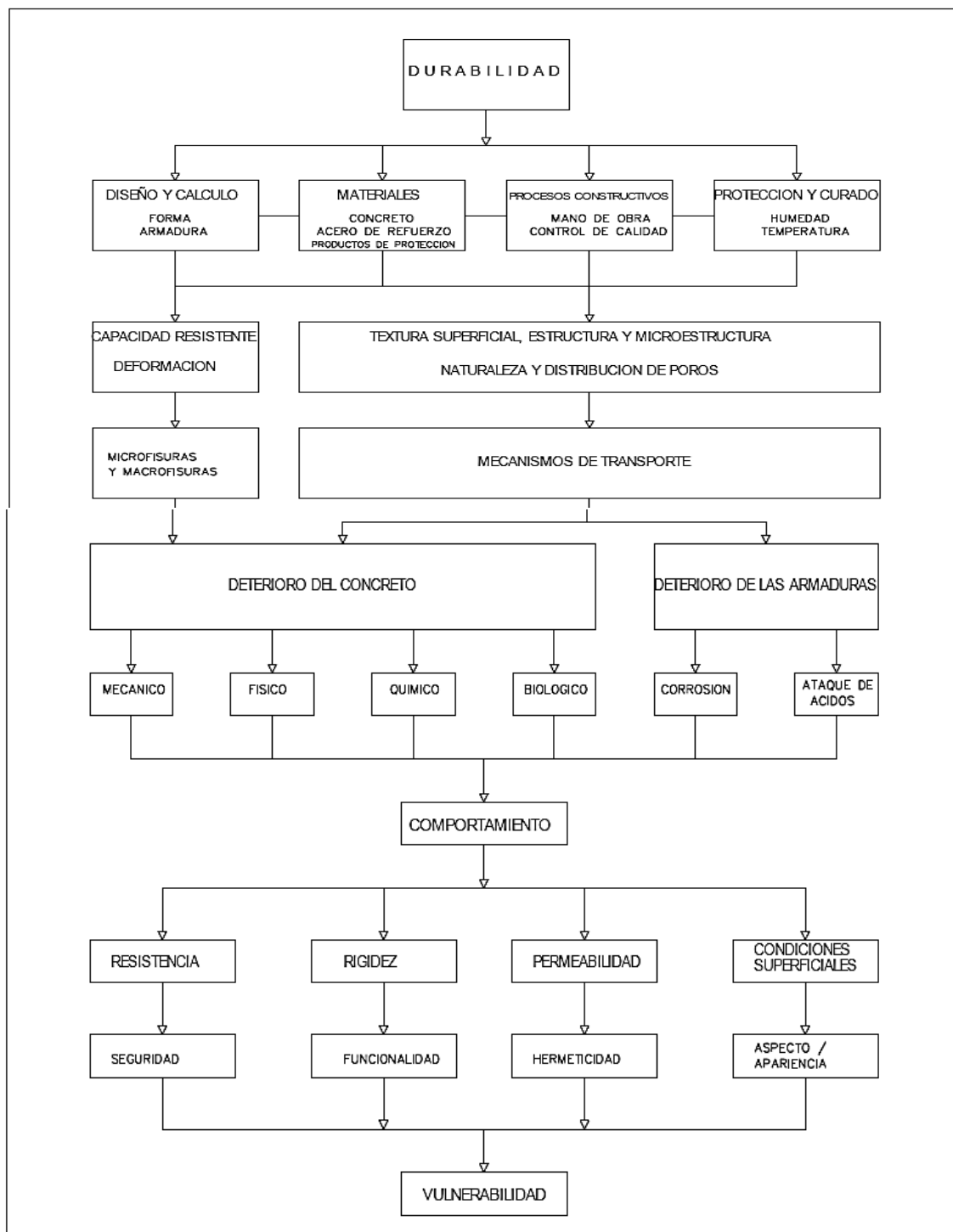
La durabilidad del concreto puede definirse como su capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, de los ataques químicos o biológicos, de la abrasión y/o de cualquier otro proceso de deterioro. Sobre este particular, afortunadamente el ACI-201.2R contempla una guía para la durabilidad del concreto.

De tal manera, que las acciones del medio ambiente la condición de exposición de una estructura se debe considerar como factores de diseño y construcción de las estructuras. Considerando el modelo de la figura 2.1, Como factores determinantes de la durabilidad de una estructura de concreto están: el diseño y el cálculo de la estructura (geometría y cuantía de acero de refuerzo); los materiales empleados (concreto, acero y productos de protección); las practicas constructivas (calificación de la mano de obra y control de calidad); y los procedimientos protección y curado lo anterior,

genera una capacidad resistente y de deformación máxima permisible ante las cargas de servicio; desarrolla una textura superficial para el intercambio con el exterior (micro-clima); y también, permite obtener una estructura y una micro estructura del concreto, que a su vez definen la naturaleza y distribución de poros al interior de la masa.

Si la capacidad resistente es rebasada, hay deformaciones impuestas u otro tipo de acciones mecánicas (p.e. impactos, vibración, abrasión, etc.), invariablemente aparecerán micro fisuras y/o macrofisuras, consideradas como deterioro mecánico. Pero también, dependiendo del tipo, tamaño y distribución de los poros y fisuras (microfisuras y macrofisuras), se establece una cierta y determinada porosidad a través de la cual operan los mecanismos de transporte de fluidos (gases o líquidos, con o sin sustancias suspendidas o disueltas).

Que ayudados a su vez por el efecto de la temperatura, la humedad y/o la presión, permiten iniciar y/o propagar el deterioro del concreto por acciones físicas,



**Figura 2. 1 RELACIÓN ENTRE CONCEPTOS DE DURABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO**

**FUENTE: DIEGO SANCHEZ DE GUZMÁN (DURABILIDAD Y PATOLOGÍA DEL CONCRETO)**

químicas, y/o biológicas, o del armado por el fenómeno de corrosión. Por lo

tanto, el tipo, cantidad y magnitud de los procesos de degradación del concreto (mecánico, físico, químico y/o biológico) y de las armaduras de refuerzo activa o pasiva (corrosión y/o ataque de ácidos), determinan a través del tiempo la resistencia, la rigidez y la permeabilidad de los diferentes elementos que conforman la estructura.

También, las condiciones superficiales de la estructura influyen en estos y otros factores y todo ello se refleja en seguridad, funcionalidad, hermeticidad, aspecto y apariencia de la estructura.

En resumen, esto determina el comportamiento de la estructura y su vulnerabilidad (cuantificación del potencial de mal comportamiento con respecto a una sollicitación).

#### **2.1.2.1 VIDA ÚTIL DEL PROYECTO**

La vida útil del proyecto o periodo de iniciación, está definida como aquel periodo de tiempo necesario que ha sido previsto por el diseñador de la estructura, para que un mecanismo de daño (p. e. el frente de carbonatación) o un agente agresor (p. e. el frente de cloruros), de inicio al deterioro del concreto simple o armado. Es decir, que la vida útil del proyecto se cumple cuando la barrera de protección del concreto (p. e. productos de protección superficial, la capa de recubrimiento sobre el acero de refuerzo, o ambos, etc.), ha sido vencida por el agente agresor (p. e. frente de carbonatación, frente de cloruros, penetración de sulfatos, etc.), pero aun no se ha iniciado el debilitamiento de la estructura.

#### **2.1.2.2 VIDA ÚTIL DE SERVICIO**

La vida útil de servicio está definida como el periodo de tiempo que se inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un cierto y determinado nivel aceptable de deterioro. Es decir, que la vida útil de servicio es la suma del periodo de iniciación y del periodo de propagación del mecanismo de daño o del agente de deterioro que agreden al concreto o al acero de refuerzo.

En la etapa de propagación de daños, usualmente se pueden evidenciar distintos niveles o síntomas de deterioro, tales como: manchas superficiales, desintegración parcial del concreto de recubrimiento (degradación de la pasta superficial), exposición del agregado, fisuras

en el concreto de recubrimiento desprendimientos del recubrimiento, desintegración total del concreto de recubrimiento, u otras.

Por lo anterior, el tiempo de vida útil de servicio de cada estructura es muy variable dependiendo del caso, debido a que cada proyecto tiene un cierto y determinado nivel de aceptación.

Por ejemplo, desde el punto de vista estético puede ser inaceptable que una estructura de concreto presente manchas o presencia de hongos o bacterias, además, la hermeticidad puede ser definitiva para que no haya humedad o percolación de fluidos en el concreto también, la funcionalidad pueden implicar el que no se presenten deflexiones excesivas, fisuras o pérdidas de masa; o finalmente, la seguridad demanda que no se rebasen los límites de resistencia previstos bajo las cargas de servicio y las sollicitaciones mecánicas, Por ello se observan varios ejemplos de vida útil de servicio.

### **2.1.2.3 VIDA ÚTIL ÚLTIMA O TOTAL**

La vida útil última o total o límite de fractura está definida como el periodo de tiempo que va desde que se inicia la ejecución de la estructura hasta que se presente su colapso parcial o total.

Es decir, que la vida útil total es la suma del periodo de iniciación del deterioro, del periodo de propagación del mecanismo de daño o del agente de deterioro que agreden al concreto o al acero de refuerzo, y del periodo de colapso parcial o total. en la etapa del colapso, se pueden presentar roturas, o colapsos parciales o el colapso total de la estructura; y usualmente, corresponde al periodo de tiempo en el cual puede haber una reducción significativa de la sección neta residente del acero de refuerzo, una pérdida importante de la adherencia entre el concreto y el acero, o una disminución importante de la capacidad resistente de concreto (fatiga del material, como consecuencia de la acción de los mecanismos de daño.

### **2.1.2.4 VIDA ÚTIL RESIDUAL**

De acuerdo con Paulo Helene, si durante la vida en servicio de una estructura se realiza una inspección, una evaluación y un diagnóstico (secuencialmente y en un corto periodo de tiempo), a partir de ellos, se puede entonces determinar con alguna aproximación la vida útil residual

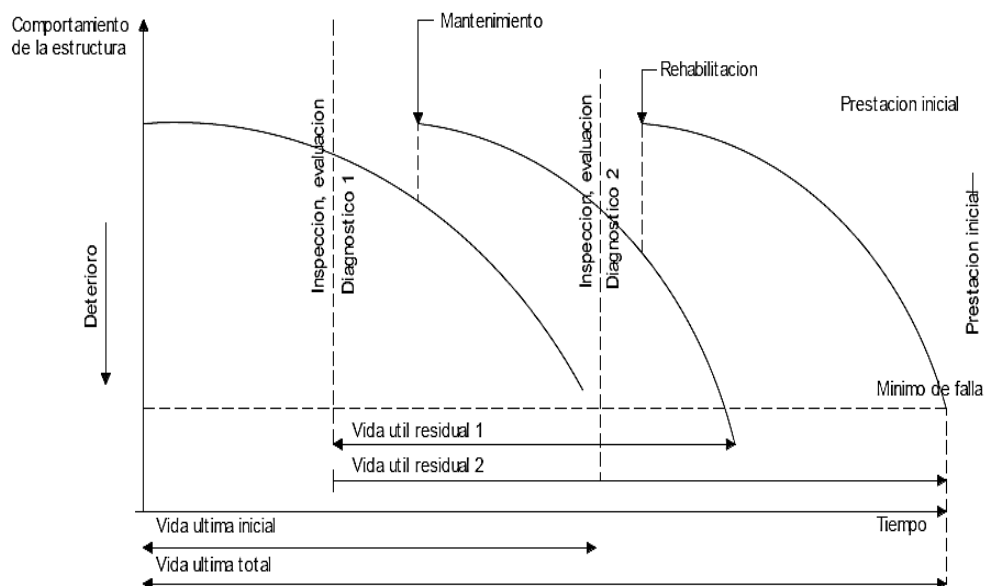


de la estructura, Por lo tanto la vida útil residual corresponde al periodo de tiempo (contado a partir de la fecha de la inspección), en que la estructura todavía es capaz de desempeñar sus funciones.

La inspección, la evaluación y el correspondiente diagnóstico, puede ser efectuado en cualquier momento de la vida en uso de la estructura.

Por lo tanto ello puede generar distintas vidas residuales, Es decir, que el plazo final puede ser tanto el límite del proyecto, como el límite de las condiciones de servicio, o el límite de fractura, dándose origen a tres vidas útiles residuales.

De otra parte, si la estructura es mantenida periódicamente (lavada y protegida) o rehabilitada, (resanada, reparada, reforzada o re-protegida), necesariamente se da origen a una nueva vida útil del proyecto, cuya extensión en el tiempo dependerá del tipo de mantenimiento o de rehabilitación efectuada, ver figura 2.2



**Figura 2. 2 RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO Y EL CONCEPTO VIDA ÚTIL DE LA ESTRUCTURA REPOTENCIADA MEDIANTE MANTENIMIENTO O REHABILITACIÓN.**

**FUENTE: HELENE PAULO ROBERTO, "EL FENOMENO DE LA CORROSIÓN EN LA VIDA ÚTIL DEL CONCRETO"**

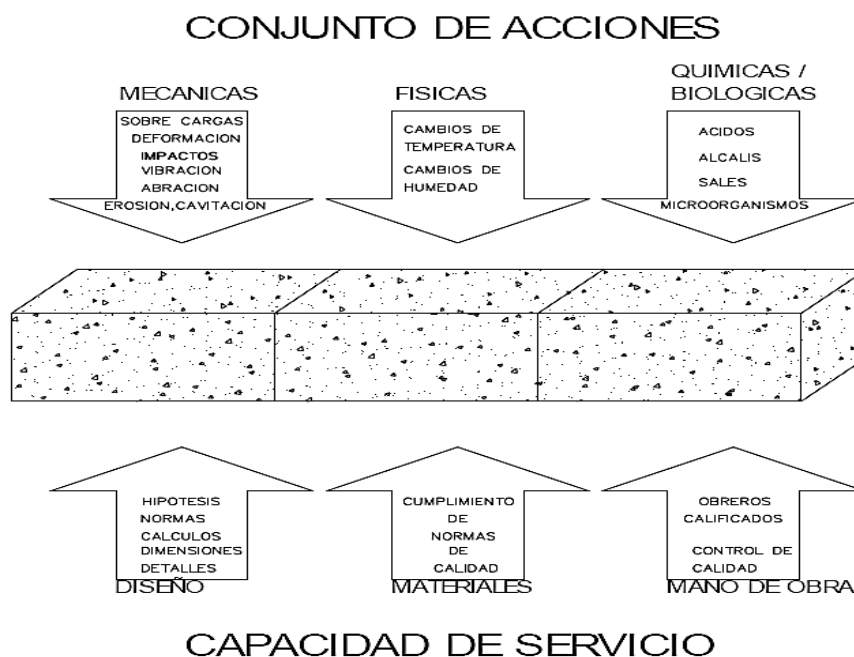
### 2.1.3 MECANISMOS DE DAÑO.

Tomando un modelo del equilibrio como se observa un conjunto de acciones en relación con una capacidad de servicio que afectan la durabilidad del concreto y pueden aclarar muchos conceptos sobre los mecanismos de falla de una estructura de concreto.

### 2.1.3.1 ACCIONES FÍSICAS.

Las acciones físicas se refieren esencialmente a los cambios volumétricos que experimenta el concreto, como consecuencia de cambios de humedad (agua líquida, vapor de agua, escarcha), y/o de temperatura (frio, calor, fuego).

Pero también, las acciones físicas hacen referencia las variaciones en su masa (cambios de peso unitario, porosidad, y permeabilidad), (figura 2.3)



**Figura 2.3      MODELO DE EQUILIBRIO DE DURABILIDAD DEL CONCRETO**  
**FUENTE:        DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN DURABILIDAD Y PATOLOGÍA**  
**DEL CONCRETO**

### 2.1.3.2 ACCIONES MECÁNICA

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones mecánicas están la deformación lenta (fluencia); las sobrecargas y deformaciones impuestas (fisuras estructurales; deflexiones y movimientos excesivos, imprevistos o fortuitos; y, las fracturas y los aplastamientos); las vibraciones excesivas; y los daños por abrasión (frotamiento, rozamiento), que están relacionados con el uso que se da en estructura, Estos mecanismos de daño de carácter mecánica serán estudiados.

### 2.1.3.3 ACCIONES QUÍMICAS

Como factores de deterioro que se asignan a las acciones químicas están, al ataque de ácidos, la carbonatación, la formación de sales expansivas (ataque de sulfatos), y la expansión destructiva de las reacciones álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo.

Estos mecanismos de daño serán estudiados, excepto la corrosión del acero de refuerzo que será tratada.

#### **2.1.3.4 ACCIONES BIOLÓGICAS**

Como consecuencia de la biorreceptividad que ofrecen las superficies de concreto y de mortero, aparentemente por la disminución del pH sobre sus mismas superficies se dan las condiciones para la colonización, establecimiento y desarrollo de microorganismos de origen animal o de origen vegetal, que también afectan la durabilidad del concreto. Estos mecanismos de daño, serán estudiados.

## **2.2 PATOLOGÍA DEL CONCRETO**

### **2.2.1 GENERALIDADES**

Desde la invención de los hornos rotatorios y los molinos de cuerpo molidores, al comienzo del siglo XX, que permitieron producir cemento portland en cantidades industriales y hubo un desmesurado desarrollo de las estructuras de concreto armado, siempre se consideró que el concreto hidráulico era un material prácticamente imperecedero por su solidez, su dureza, su alta resistencia mecánica (específicamente), e incombustibilidad.

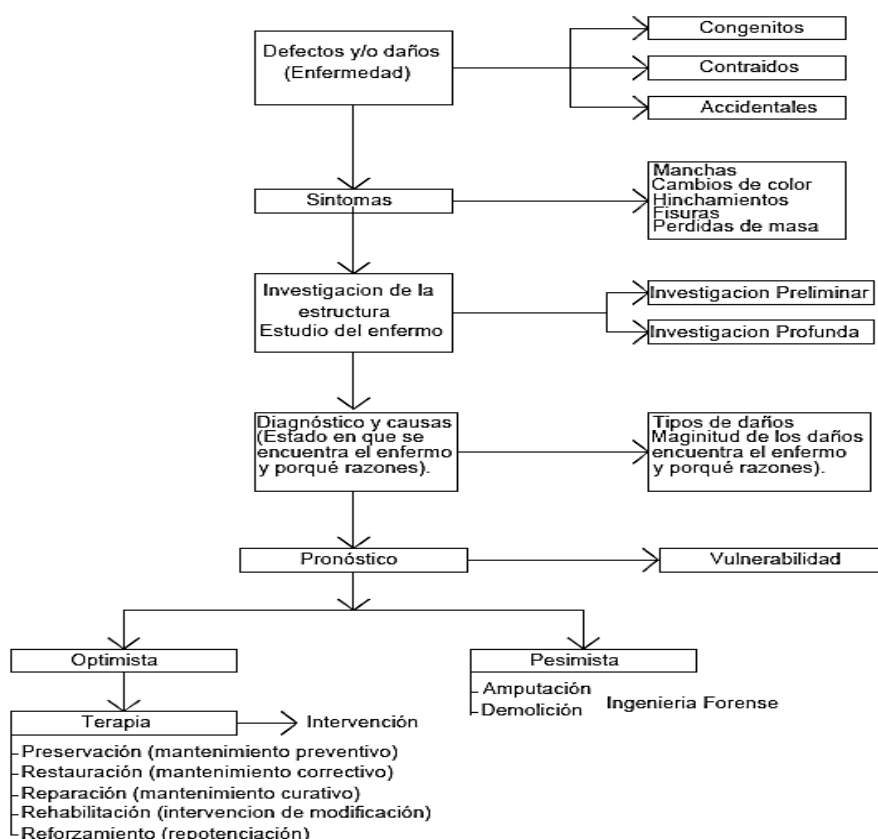
Con el transcurso de los años, hubo importantes desarrollos tecnológicos en la química de los cementos; la calidad y el comportamiento de los agregados naturales y artificiales; las características del agua de mezclado y de curado; el uso de aditivos y adiciones; las técnicas de producción, manejo y colocación del concreto; las prácticas de protección y curado; y, el desarrollo de muchas clases especiales de concretos, que desde luego han contribuido a ratificar esa condición de material duradero.

Sin embargo, el concreto en su misma condición de piedra artificial, al igual que las rocas naturales, también puede sufrir modificaciones en su solidad estructura, si existen agente (internos o externos) que con el paso del tiempo lo puedan deteriorar como nos lo ha demostrado la corta experiencia de estos últimos 100 años de vida que tiene la tecnología moderna del concreto.

Por ello, hacia la década de los años 60, en todo el mundo se empezó a poner especial cuidado a la conservación y reparación de toda suerte de estructuras de concreto armado, dando origen al entendimiento de los mecanismos de daño y al estudio formal de la patología del concreto pero sobre todo a la prevención de fallas.

## 2.2.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE DE LA PATOLOGÍA DEL CONCRETO

La patología del concreto, puede definirse entonces como el estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades o los defectos y daños que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y sus remedios. El alcance de la patología del concreto, se puede visualizar en el esquema de la (figura 2.4).



**Figura 2. 4      MODELO SECUENCIAL DE LOS PROCESOS QUE SIGUEN LA PATOLOGÍA DEL CONCRETO.**

**FUENTE:      FERNADEZ CANOVAS (ESPAÑA).**

Al igual que los seres vivos el concreto puede sufrir enfermedades y lesiones (defectos o daños), que alteran su estructura interna y su comportamiento. Algunas de ellas pueden ser congénitas, es decir, que estuvieron presentes desde su concepción y/o construcción; otras pueden haberse contraído

durante alguna etapa de su vida útil; y otras pueden ser consecuencia de accidentes. Según el modelo presentado, las enfermedades se manifiestan mediante unos síntomas que están representados por fenómenos que exhibe el concreto, tales como: manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa, u otros (figura 2.5)



**Figura 2. 5 SINTOMAS SUPERFICIALES DE DAÑOS EN ESTRUCTURA DE CONCRETO**

Por ello, se adelanta una investigación de la estructura (estudio del enfermo), que incluye una investigación preliminar y una investigación profunda (que serán tratadas con suficiente detalla en capítulo siguiente); las cuales comprenden un conocimiento previo, antecedentes o historial (sobre aspectos como las cargas de diseño, el clima que rodea la estructura, el diseño, la vida útil, el proceso constructivo, las condiciones actuales, y el uso, cronología de daños entre otras); una inspección visual (condiciones de la estructura); una auscultación de los elementos afectados ( mediciones de campo y pruebas no destructivas); una exploración (remociones y sondeos); una evaluación o análisis estructural (chequeo de la capacidad estructural y determinación de la resistencia residual de la estructura mediante métodos empíricos, métodos analíticos o pruebas de carga); y, una extracción, ensayo y análisis de muestras (ensayos de evaluación física, mecánica, química, biológica y/o microscópica, que permiten establecer mecanismos de daño).

Es decir que hay una patología clínica que se encarga del estudio de la enfermedad y una patología experimental que se encarga de realizar pruebas en el laboratorio y/o en el campo.

Según el mismo modelo, posteriormente, se correlacionan; antecedentes; las inspecciones, mediciones, auscultamientos y exploraciones, realizados a los elementos afectados de la estructura; y, los resultados de los ensayos físicos, mecánicos, químicos, biológicos y petrográficos

(no disponible hasta este momento en el Perú) obtenidos de las muestras extraídas, para establecer y diagnosticar apropiadamente, el tipo, la magnitud y la cantidad, de los diferentes daños en los elementos y estructuras evaluadas, con sus más probables causas de ocurrencia.

Con base en el diagnóstico (estado en que se encuentra el enfermo), se evalúa la condición de servicio y se genera un pronóstico sobre el comportamiento futuro de los elementos afectados y de la estructura en general. Según Fernández Cánovas, este pronóstico puede ser optimista o pesimista.

En el pronóstico optimista, se puede aplicar una terapia apropiada (intervención) para lograr alguna de las siguientes acciones y condiciones, recomendadas por el comité ACI 364. 1R:

- **Preservación:** proceso de mantener una estructura en su condición presente y contrarrestar posteriores deterioros.
- **Restauración:** Proceso de restablecer los materiales, la forma o la apariencia que tenía una estructura en una época determinada.
- **Reparación:** proceso de reemplazar o corregir materiales, componentes o elementos de una estructura, los cuales se encuentran deteriorados, dañados o defectuosos.
- **Rehabilitación:** proceso de reparar o modificar una estructura hasta llevarla a una condición deseada (intervención de modificación)
- **Reforzamiento:** Proceso mediante el cual se incrementa la capacidad de una estructura o de una parte de ella, para resistir cargas.

En el pronóstico pesimista, es posible que la estructura tenga que sufrir amputaciones o la propia demolición.

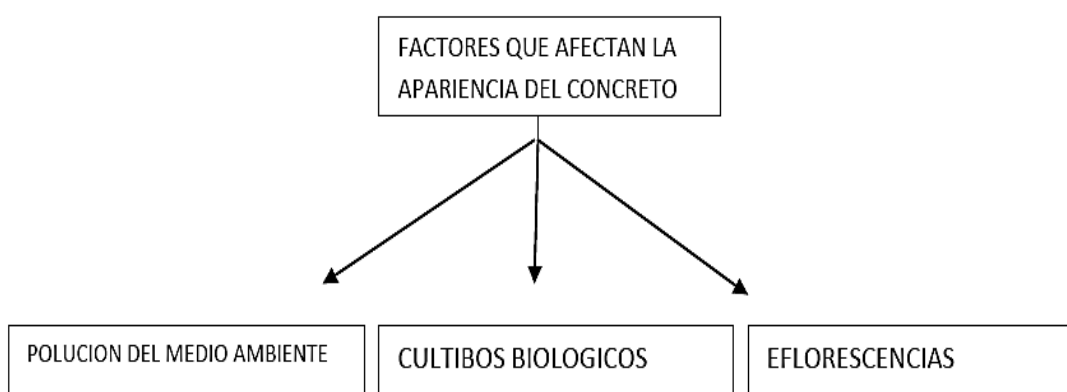
En estos casos, se está dando origen a la ingeniería forense; es decir, aquella rama de la ingeniería que se encarga del estudio de los restos de los elementos o la estructura afectada (p.e. estudios de estructuras deterioradas colapsadas por sobrecargas, sismos, fuego, explosiones, u otras).

## 2.2.3 FENÓMENOS DE ENVEJECIMIENTO Y DETERIORO

Del mismo modo que los seres vivos, puede decirse que las estructuras de concreto experimentan unas fases en el tiempo que son asimilables a la concepción (planeación y diseño); el nacimiento, la infancia, la adolescencia, la juventud (construcción); la madurez (operación o uso); la senectud (deterioro por senilidad o vejez); la agonía (degradación o fatiga del material); y finalmente, la muerte (colapso de la estructura). En todas estas etapas, aun después del colapso, el concreto experimenta fenómenos de envejecimiento y de deterioro.

### 2.2.3.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA APARIENCIA DEL CONCRETO

Como se vio en el ítem anterior, el microclima que rodea la superficie del concreto tiene un alto impacto en su durabilidad y comportamiento; y entre los factores que influyen en la apariencia y el aspecto estético están los que se indican en la (figura 2.6). La polución, está en el medio ambiente; los cultivos biológicos se sitúan sobre la superficie y las eflorescencias proceden del interior de la masa de concreto



**Figura 2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA ORIGINAL DEL CONCRETO**

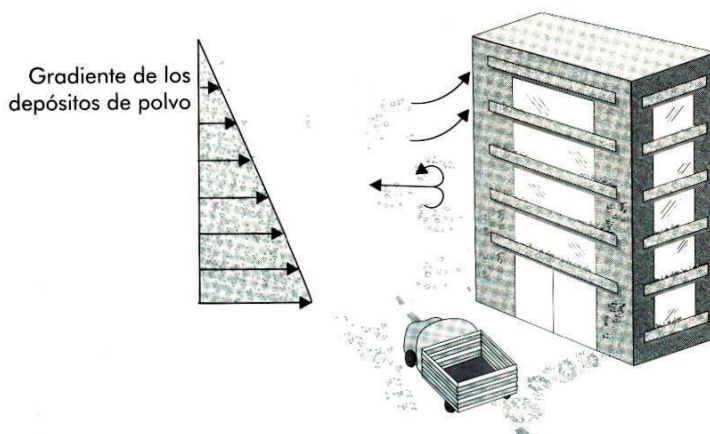
#### 2.2.3.1.1 POLUCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Esta contaminación intensa y dañina del aire, compuesta por residuos de procesos industriales o biológicos, en forma de partículas, es transportada y depositada por el viento sobre las superficies de concreto de las estructuras y puede subdividirse en:

- Polvo fino (partículas desde 0.01 hasta 1 micra), que está en suspensión en el aire, y se adhiere fácilmente a las superficies microrugosas y rugosas, y tienen una gran capacidad de cubrir debido a la elevación relación superficie/volumen de sus partículas.
- Polvo grueso (partículas desde 1 micra hasta 1 mm), que es principalmente de origen mineral y tienen una baja capacidad para cubrir superficies. Este polvo usualmente se adhiere a las superficies que permanecen húmedas durante largos periodos de tiempo.

Dependiendo de la velocidad del viento (que aumenta con la altura) y del flujo (laminar o turbulento), la acumulación de polvo sobre las superficies de una estructura varía.

Por ejemplo, en una fachada alta, la velocidad del viento puede ser tan grande que no hay lugar a que se formen depósitos de polvo, e inclusive haya más bien remoción del polvo existente sobre la superficie; en las fachadas intermedias, donde hay turbulencia, la formación de depósitos se acelera; y en las partes bajas, donde hay mayor concentración de polvo, se intensifica la magnitud de los depósitos. (Ver figura 2.7).



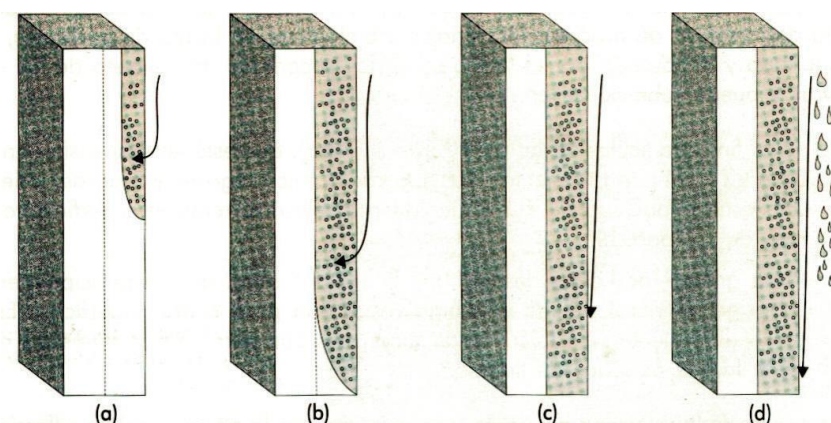
**Figura 2.7 FORMACIÓN DE DEPÓSITOS SOBRE UNA FACHADA DE CONCRETO.**

De otra parte, debido a la dirección del viento, cuando llueve se producen ráfagas que inclinan la caída del agua sobre las superficies y generan lavado y limpieza diferencial de las capas de polvo que puedan existir.

El escurrimiento del agua, barre la capa de polvo y en algunos casos la redeposita en lugares donde la textura del concreto y la geometría del mismo facilitan la formación de depósitos de polvo. Adicionalmente, si el



concreto tienen una alta porosidad y por lo tanto una baja hermeticidad, este puede ser penetrado por el agua según el modelo presentado en la (figura 2.8) para superficies verticales.



**Figura 2. 8      MODELO DE RECUBRIMIENTO Y ABSORCIÓN DE AGUA SOBRE UNA SUPERFICIE VERTICAL DE CONCRETO.**

En este modelo, en la figura (a) se inicia la absorción del agua en los poros superficiales del concreto; en (b), se inicia el escurrimiento de agua sobre la porción de la superficie ya saturada; en (c), ya se ha saturado totalmente la capa superficial y se inicia el lavado de la superficie; y en (d), el exceso de agua escurre libremente. (Figura 2.9)



**Figura 2. 9      FACHÁDA AFECTADA EN SU APARIENCIA POR ESCURRIMIENTO DIFERENCIAL DEL AGUA LLUVIA SOBRE SU SUPERFICIE.**

#### **2.2.3.1.2 CULTIVOS BIOLÓGICOS**

Como consecuencia de la biorreceptividad que ofrecen las superficies de concreto (sobre todo si estas tienen textura rugosa), a la proliferación

de microorganismos, se afecta el aspecto del concreto, no sólo por las manchas y cambios de color; sino también, porque su principal efecto desfavorable es que mantienen húmeda la superficie del concreto, lo cual promueve los mecanismos de deterioro (que se estudian en este mismo capítulo) y los mecanismos de daño (que se estudian más adelante).(figura 2.10)



**Figura 2. 10 FACHÁDA AFECTADA EN APARIENCIA POR PRESENCIA DE CULTIVOS BIOLÓGICOS DE ORIGEN VEGETAL.**

El término eflorescencia se emplea para describir depósitos que se forman algunas veces sobre la superficie de los concretos, los morteros u otros materiales de construcción, Usualmente los depósitos eflorescentes están compuestos de sales de calcio (principalmente de carbonatos y sulfatos) o de metales alcalinos (sodio y potasio), o de una combinación de ambos. Los depósitos eflorescentes pueden ser clasificados de acuerdo con la solubilidad de las sustancias químicas en el agua. El carbonato de calcio, que se produce como consecuencia del fenómeno de carbonatación, tiene una solubilidad en el agua extremadamente baja; y por ello, cuando se deposita es probable que tienda a permanecer.

Por lo anterior, la eflorescencia debida al carbonato de calcio insoluble está considerada como el decolorante más serio del concreto. (figura 2.11)



**Figura 2. 11 EFLORESCENCIA**

El sulfato de calcio, es ligeramente soluble en agua, pero, puesto que reacciona especialmente para formar compuestos insolubles que normalmente permanecen en el concreto, rara vez es un componente principal de los depósitos eflorescentes. Las sales metálicas alcalinas son mucho más solubles que las sales de calcio y constituyen un problema menor, ya que o no permanecen durante mucho tiempo o pueden removerse con relativa facilidad.

El riesgo de eflorescencia se reduce por medio del curado en aire húmedo y se incrementa por el curado en aire seco.

Varias investigaciones coinciden en que un curado de uno o dos días de 80 a 95% de humedad relativa y 20°C de temperatura, son suficientes para dar buena protección contra la formación de eflorescencias. Si se usa menos del 65% de humedad relativa, el tiempo de curado necesario deberá hacerse durante varias semanas.

### **2.2.3.2 MECANISMOS DE DETERIORO**

Entre los mecanismos de deterioro que sufre el concreto, los cuales lo degradan o destruyen, por acción independiente o combinada de los mecanismos de daño por acciones físicas, mecánicas, químicas o biológicas, se encuentran las siguientes.

#### **2.2.3.2.1 METEORIZACIÓN**

Alteración física, mecanizada o química sufrida por el concreto bajo la acción de la intemperie (sol, viento, lluvia, u otros). Este fenómeno, desde luego está muy influenciado por los cambios en la temperatura, la

humedad y la presión (viento del medio ambiente; pero también, especialmente por la polución del mismo medio ambiente que es un factor de continuo crecimiento en los centros urbanos. (Figura 2.12)



**Figura 2. 12 CONCRETO METEORIZACIÓN EN SU CAPA SUPERFICIAL**

Acción y efecto de quitar o amortiguar el color de una superficie de concreto, como consecuencia de la meteorización, la presencia de eflorescencias, los ciclos de asoleamiento, los ciclos de humedecimiento y secado, la acumulación de polvo, el lavado por la lluvia y/o el escurrimiento de agua. (figura 2.13)



**Figura 2. 13 CONCRETO MANCHADO EN SUPERFICIAL**

### 2.2.3.2.3 EXPANSIÓN

La expansión de la masa de concreto se puede presentar como consecuencia de reacciones que forman nuevos productos que aumentan de volumen, como son: el ataque de sulfatos a la pasta de cemento hidratada y endurecida; o, las reacciones álcali-agregado que se dan entre los compuestos alcalinos del concreto y ciertos agregados reactivos. Estos dos fenómenos, son estudiados más adelante.

Los síntomas básicos de la expansión por ataque de sulfatos, son microfisuras y fisuras aleatorias en la masa de concreto afectada, descascaramiento, ablandamiento de la masa, pérdida de resistencia y de rigidez. En este caso, también se observa una reducción del pH del estrato acuoso de los poros superficiales, con riesgo de despasivación de la capa de recubrimiento del acero de refuerzo. (Figura 2.14)



**Figura 2. 14 ASPECTO DE UN CONCRETO DETERIORADO POR EXPANSIÓN DEBIDO A ATAQUES DE SULFATOS.**

Los síntomas básicos de la expansión por la reacción álcali-agregado, son una expansión generalizada de la masa de concreto con fracturas superficiales, profundas y aleatorias para estructuras masivas; y fracturas ordenadas para elementos delgados. (figura 2.15)





**Figura 2.15 ASPECTO DE UN CONCRETO DETERIORADO POR EXPANSIÓN**

#### **2.2.3.2.4 DESPASIVACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO**

El recubrimiento de concreto que se hace sobre el acero de refuerzo de una estructura de concreto es conocido como la capa protectora o pasivadora que protege al acero de la acción agresiva de ciertas sustancias o elementos que pueden ocasionar deterioro o corrosión del acero de refuerzo.

Cuando esta capa pasivadora que debe ser densa, compacta y de espesor suficiente, pierde su capacidad de protección, se dice que se ha despasivado.



**Figura 2.16 CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO POR DESPASIVACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.**

La despasivación del recubrimiento del concreto se puede dar por el fenómeno de carbonatación, de la capa de recubrimiento, que permite el acceso de agua, oxígeno u otras sustancias que pueden reaccionar con el acero de refuerzo.

Las despasivación del recubrimiento del concreto también se pueden dar por la penetración de iones cloruro a través de procesos de difusión, impregnación o absorción capilar de agua con cloruros, que al acceder al acero de refuerzo fomentan el fenómeno de corrosión del mismo. (Figura 2.16)

## **2.2.4 FALLAS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

Muchos son los investigadores que en los últimos años se han ocupado del tema de la patología del concreto y aunque la normativa al respecto es pobre; las fallas que ocurren en estructuras de concreto se pueden clasificar dentro de las siguientes categorías

### **2.2.4.1 FALLAS DURANTE LA CONCEPCIÓN Y DISEÑO DEL PROYECTO**

Como se ha visto en los ítem anteriores, la planeación y el diseño de una estructura no sólo debe basarse en su función, sino también en las condiciones ambientales y en la vida estimada de servicio. Para ello, es indispensable que los profesionales que intervienen en la fase de diseño del proyecto, sean consecuentes no solo en aplicar métodos de cálculo altamente desarrollados; sino también, en considerar los aspectos tecnológicos que aporta la Ingeniería de materiales.

Debido al desmesurado avance que han tenido los métodos de cálculo de estructuras, que consideran diversas hipótesis de carga, normas, cálculos, dimensiones y detalles, y tienden a optimizar los recursos disponibles en un proyecto de construcción, hoy en día hay una mayor inclinación hacia construir estructuras más estables y algunas veces con factores de seguridad más bajos (que no ponen en riesgo la capacidad estructural, pero sí pueden afectar la durabilidad). Pero fallas por concepción y diseño de una estructura pueden darse por muchas razones, entre ellas:

- Por ausencia de cálculos o por no valorar todas las cargas y condiciones de servicio.

- Por falta de un diseño arquitectónico apropiado. El diseño estructural debe incluir los conceptos arquitectónicos y viceversa.
- Por falta de drenajes apropiados (eliminar el agua es eliminar el problema).
- El desagüe sobre el concreto hay que evitarlo; lo mismo de la presencia de agua estancada. del mismo modo, deben reducirse las salpicaduras y los ciclos de humedecimiento y secado
- Por no proyectar juntas de contracción, de dilatación o de construcción.
- Hay que entender que el diseño y construcción de estructuras de concreto implica la presencia de fisuras y grietas, que deben ser controladas mediante la disposición del llamado acero de retracción y temperatura y/o de juntas.
- Por no calcular de manera apropiada todos los esfuerzos y/o confiarse en los programas de computador.
- Por no dimensionar apropiadamente los elementos estructurales y/o no disponer apropiadamente del refuerzo.
- Por imprecisiones en los métodos de cálculo o en las normas.
- Por no especificar la resistencia y características apropiadas de los materiales que se emplean (concretos y aceros).
- Por tolerar deformaciones excesivas en el cálculo.
- Por falta de detalles constructivos en los planos.

#### **2.2.4.1.1 FALLAS POR MATERIALES**

Los materiales también han experimentado cambios significativos y su selección debe estar basada en una calidad, una capacidad, unas experiencias y una formulación. Por ejemplo, hoy existe una gran variedad de cementos cuyas propiedades y características permiten diferentes usos y aplicaciones (por ello, es importante elegir el cemento apropiado por razones de durabilidad); el agua no sólo debe cumplir con los requisitos de calidad; sino que debe ser mesuradamente dosificada; los agregados deben tener granulometría continua y baja relación de vacíos, de lo contrario las mezclas tendrán alta tendencia a la segregación; el uso de aditivos debe ser racional y adecuado a las necesidades (sin excesos y sin exigir condiciones de riesgo para la estabilidad y durabilidad del concreto); las adiciones, deben usarse cuando hay lugar a ello y con conocimiento de causa.



Es indispensable romper con la costumbre de utilizar recetas únicas dosificadas por volumen en relación al diseño de mezclas. La dosificación de los ingredientes debe hacerse por peso, con corrección de la humedad en los agregados, y con ajuste al agua de mezclado por absorción o aporte del agua libre de los mismos agregados.

Como fallas más usuales por materiales, se pueden distinguir las siguientes:

- Por selección inapropiada y/o falta de control de calidad de los ingredientes de la mezcla.
- Por no diseñar y/o dosificar inadecuadamente la mezcla.
- Por no respetar las tolerancias permisibles en el asentamiento de la mezcla.
- Por utilizar agregados de tamaño equivocado.
- Por utilizar exceso de aire incluido.
- Por adicionar agua a pie de obra, sin control.
- Por no disponer de un factor de seguridad apropiado en el diseño de la mezcla.
- Por no usar la curva de relación agua/material cementante de los materiales disponibles.
- Por utilizar poco cemento (mezclas pobres y porosas), o por emplear exceso de cemento (mezclas ricas con alta concentración y fisuración).
- Por usar mezclas pastosas (con exceso de mortero) o piedradas (con excesos de agregado grueso). Este tipo de mezclas tienen alta tendencia a la segregación y a la exudación.
- Por retardos excesivos en el fraguado. El retraso en el fraguado de un concreto, puede traer como consecuencia la formación de fisuras por asentamiento y/o concentración plástica; pero además, puede afectar a la adherencia mecánica entre el acero de refuerzo y el mismo concreto.
- Por la presencia del fenómeno de falso fraguado, que tiende a inducir un incremento en el agua de mezclado con la consecuente alteración de la relación agua/material cementante.
- Por fraguados acelerados que generan estructuras de pega pobres y por lo tanto bajas resistencias mecánicas.
- Por bajas resistencias en el concreto, lo cual conduce a fatigas prematuras o detrimento de la durabilidad.
- Por no hacer control de calidad al concreto, con lo cual se desconoce

su capacidad y su comportamiento.

- Por acero de refuerzo de calidad inapropiado o por insuficiencia en los anclajes y/o longitudes de desarrollo (ACI 318-05) sobre este aspecto, por ejemplo, debe recordarse que el ASTM A616-76 estipula la corrugación del acero.

#### **2.2.4.1.2 FALLAS POR CONSTRUCCIÓN**

Una estructura fácil de construir, es una estructura que tienen mayores probabilidades de estar bien construida, y por lo tanto de ser más duradera. Además, hay que tener presente que cualquier estructura se comportará entre las solicitaciones que se le hagan, según como haya quedado construida; y por ello, los procesos constructivos deben reflejar lo más fielmente posible (dentro de las tolerancias permisibles, los planos y las especificaciones dadas en las fases de planeación y diseño del proyecto. Hoy en día existen muchos sistemas de construcción de estructuras de concreto armado, que en muchos casos demandan una metodología y unos cuidados específicos.

Es decir, que debe haber una experiencia previa, unos cuidados y unas calificaciones de la mano de obra, un control de calidad y unas precauciones que permiten obtener la calidad especificada.

Sin embargo, las fallas más comunes por los aspectos constructivos se dan por las siguientes causas.

- Por no calcular y diseñar el encofrado.
- Por defectos o deformación del encofrado.
- Por no respetar las tolerancias dimensionales permisibles en los elementos. Por ejemplo, cambiar las dimensiones de los elementos, lo cual altera su geometría, su inercia y de paso su comportamiento, porque se alteran su centro geométrico y su centro de masa.
- Por no inspeccionar el encofrado antes del vaciado, para verificar su integridad y estabilidad.
- Por no colocar apropiadamente ni asegurar el acero de refuerzo, permitiendo el desplazamiento durante el vaciado.
- Por no respetar la separación de barras y el recubrimiento de norma, mediante el uso de separadores adecuados.
- Por no inspeccionar el acero de refuerzo antes del vaciado, para verificar el cumplimiento de los planos y especificaciones.
- Por inadecuada interpretación de los planos.

- Por malas prácticas de manejo, colocación y compactación del concreto.
- Por labores de desencofrado prematuro o inapropiado.
- Por indisposición de juntas apropiadas de contracción, dilatación y/o construcción.
- Por no adelantar procedimientos adecuados de protección y curado del concreto.
- Por precargar la estructura antes de que el concreto tenga suficiente capacidad resistente.

#### **2.2.4.1.3 FALLAS POR OPERACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS**

El comportamiento real de una estructura y su seguridad bajo las cargas y condiciones previstas de servicio se fundamenta en un buen diseño, el uso de los materiales indicados, y la calidad de la construcción.

De acuerdo con el concepto de vida útil de servicio presentando anteriormente, existe un periodo de tiempo para el cual la estructura se considera vigente hasta que se cumpla un cierto y determinado nivel aceptable de deterioro, bajo las condiciones de uso.

Sin embargo, en la práctica la vida útil de servicio, puede acabar antes del tiempo previsto por *abuso* de la estructura (incremento de las cargas permitidas, o acción de fenómenos accidentales como impactos, explosiones, inundaciones, fuego u otras); o por cambio de uso (cambio de las cargas de servicio y/o cambio de las condiciones de exposición). Sin embargo hay que reconocer que las condiciones de servicio y el envejecimiento y deterioro de los materiales como el concreto, en la realidad, son impredecibles.

#### **2.2.4.1.4 FALLAS POR MANTENIMIENTO**

Finalmente, hay que reconocer que las condiciones de servicio y el envejecimiento y deterioro de los materiales como el concreto, en la realidad, no son totalmente predecibles; y por lo tanto, para mantener la confianza en la integridad estructural, el comportamiento, la funcionalidad, la estabilidad, la durabilidad y la seguridad, es necesario realizar unas inspecciones rutinarias que derivarán en la necesidad de un mantenimiento, reparación, rehabilitación o refuerzo de la estructura. En la práctica, después de la puesta en servicio de una estructura,

debería iniciarse el mantenimiento de la misma con una inspección preliminar y con base en ello y en las condiciones de operación del proyecto elaborar un manual de mantenimiento.

Este mantenimiento, al igual que el que se practica en los vehículos puede ser preventivo, correctivo o curativo, según el grado de deterioro o de defectos que exhiba la estructura. El mantenimiento preventivo contempla los trabajos de reparación necesarios para impedir posibles deterioros o el desarrollo de efectos ya apreciados. La limpieza de los sistemas de drenaje, es tal vez el ejemplo más simple de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo, hace referencia a la restitución de las condiciones originales del diseño, de manera tal que se restablezcan los materiales, la forma o la apariencia de la estructura.

La restauración de estructuras, es un buen ejemplo de mantenimiento correctivo. El mantenimiento curativo tiene lugar cuando hay que reemplazar porciones o elementos de una estructura, por deterioro o defecto.

La demolición y reparación de miembros estructurales, son técnicas empleadas para practicar el mantenimiento curativo.

## **2.3 ACCIONES FÍSICAS**

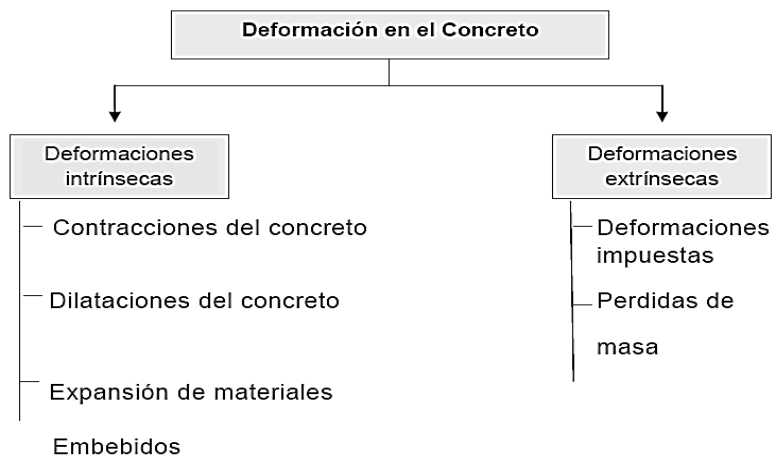
### **2.3.1 GENERALIDADES**

Las acciones físicas se refieren esencialmente a los cambios volumétricos que experimenta el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, como consecuencia de cambios de humedad ( agua líquida, vapor de agua) y/o temperatura( frío , calor, fuego ) .Pero las acciones físicas también hacen referencia a las variaciones que el concreto puede tener en su masa y que afectan al peso unitario , la porosidad, y la permeabilidad( por contracción por carbonatación, por expansión por ataque de sulfatos, o por hinchazón del acero de refuerzo por corrosión).

### **2.3.2 PLANOS DE FALLA Y FISURAS EN EL CONCRETO**

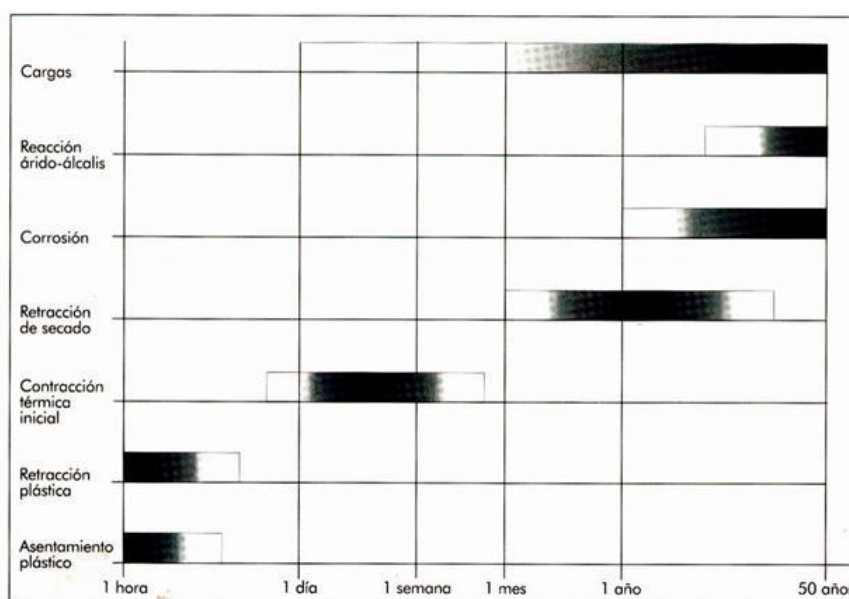
Aunque el concreto es muy resistente a la compresión, su capacidad de tolerar esfuerzos de tracción es relativamente débil; y por ello, los movimientos que el experimenta y que se manifiestan mediante deformaciones (intrínsecas

o extrínsecas), pueden desarrollar micofisuras, fisuras y grietas. (Figura 2.17)



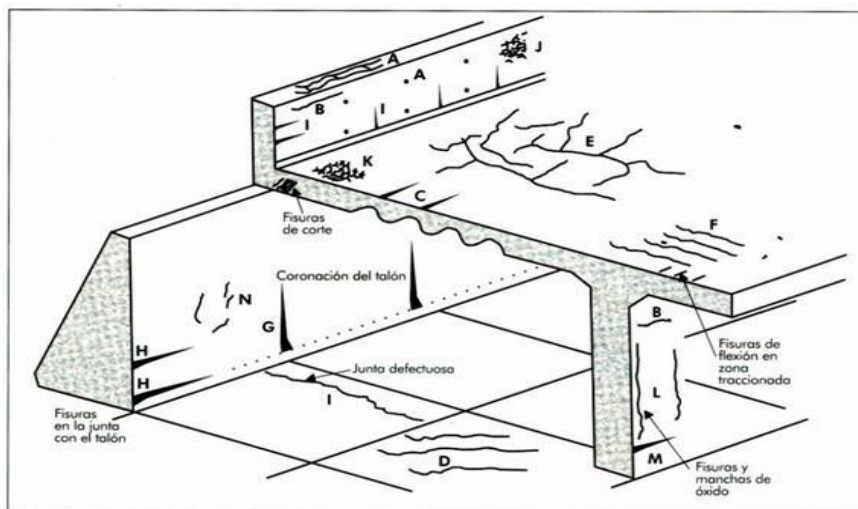
**Figura 2.17 DEFORMACIÓN DEL CONCRETO**

Grandes esfuerzos y roturas pueden ser prevenidos o minimizados mediante el control de las variables que afectan los cambios de volumen; y la comprensión de la naturaleza de esos cambios, es útil para el análisis y prevención de planos de falla y agrietamientos. (figura 2.18) (figura 2.19)



**Figura 2.18 TIEMPO DE OCURRENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FISURA.**

**FUENTE: COMISION IV, GRUPO ESPAÑOL DE HORMIGON, DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON.**



**Figura 2. 19 ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FISURAS**

**FUENTE: COMISION IV, GRUPO ESPAÑOL DE HORMIGON, DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON.**

### 2.3.3 MOVIMIENTOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Los cambios volumétricos que experimenta el concreto durante la construcción, usualmente obedecen a movimientos en el proceso de vaciado o en el proceso de fraguado, y están ligados a deformaciones de la base de soporte o a movimientos de las formaletas.

#### 2.3.3.1 MOVIMIENTO DE LA BASE

Cuando la base de apoyo del concreto fresco (particularmente las bases granulares de pavimentos y pisos), experimenta deformaciones durante el vaciado o el fraguado de la mezcla (posiblemente por una inadecuada compactación y solidez), existe una alta probabilidad de que se causen planos de falla y fisuras que pueden tener connotaciones estructurales adversas.

En otros casos, cuando el concreto ya ha sido colocado y compactado, pero se presentan vibraciones, impactos, o movimientos de la misma base (por ejemplo transito de vehículos u operaciones de excavación en zonas adyacentes o cercanas), también se pueden presentar fracturas y daños. (figura 2.20).



**Figura 2. 20 FISURAS EN UNA LOSA DE CONCRETO, POR VIBRACIÓN DE LA BASE, DURANTE EL FRAGUADO DEL CONCRETO.**

### **2.3.4 CAMBIOS VOLUMÉTRICOS EN ESTADO ENDURECIDO**

Durante el estado endurecido, los cambios volumétricos del concreto generalmente están asociados a la contracción o dilatación que experimenta el material por cambios de humedad y/o por cambios de temperatura; o a los cambios que tiene lugar en la propia masa endurecida.

#### **2.3.4.1 FISURAS POR CAMBIOS DE HUMEDAD**

Entre los mecanismos de daño causados por cambios de humedad o por la presencia permanente de agua dentro del concreto en estado endurecido, se encuentran las grietas capilares o cuarteadoras; la contracción por secado; los agregados con retracción; y los ciclos de humedecimiento y secado.

Todas estas, también son fisuras, que se presentan solo en la pasta de cemento, es decir que no atraviesan el agregado sino que lo rodean.

##### **2.3.4.1.1 GRIETAS CAPILARES O CUARTEADURAS**

Durante el proceso de fraguado e inclusive posteriormente, las grietas capilares o cuarteaduras, que algunas veces aparecen sobre la superficie del concreto en distribución hexagonal (fisuración en mapa), se deben principalmente a procedimientos incorrectos de consolidación, acabado y curado (figura 2.21)



**Figura 2. 21                    GRIETAS CAPILARES O CUARTEADURAS EN UNA LOSA DE CONCRETO**

Las causas más comunes de este tipo de grietas, son la sobre vibración (segregación del concreto durante la compactación) o el excesivo aplanado que durante el acabado provoca el avance de agua, cemento, y a fracción mas fina del agregado hacia la superficie.

Este material húmedo y cohesivo, tiene una contracción por secado mucho mas alta y una resistencia mas baja que el mortero y el concreto subyacentes, lo cual hace que al desecarse, la superficie este sujeta a esfuerzos de tensión que son superiores a su resistencia a la tracción generando cuarteaduras y grietas que suelen aparecer entre 1 y 15 días después del vaciado.

Su profundidad rara vez llega a 1 cm y por tanto tienen poca trascendencia estructural otra practica equivocada y común, que también causa este tipo de grietas es el riego de cemento seco sobre la superficie húmeda del concreto para secarlo antes del alisado, lo cual genera una inusitada riqueza de la pasta superficial que induce las cuarteaduras al secarse.

## **2.4 ACCIONES MECÁNICAS**

### **2.4.1 GENERALIDADÉS**

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones mecánicas están la deformación lenta (fluencia); las sobrecargas y deformaciones impuestas (fisuras estructurales; deflexiones y movimientos excesivos, imprevistos o



fortuitos; y las fracturas y los aplastamientos); los impactos; las vibraciones excesivas; y los daños por abrasión (frotamiento, rozamiento, raspado, percusión, erosión y cavitación), que están relacionados con el uso que se da a la estructura.

## 2.4.2 CONCEPTOS BÁSICOS

El concreto simple ofrece, como las piedras naturales, una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y muy escasa a los esfuerzos de tracción (en términos generales su resistencia a la tracción es del orden de un 10% de su resistencia a la compresión); por lo tanto, por si solo es inadecuado para formar piezas que han de resistir tracciones y flexiones.

Pero al disponer varillas de acero en las zonas de tracción, se suple esta deficiencia, teniendo entonces una pieza resistente a la flexión.

De otra parte, para asegurar el enlace del concreto y las varillas de refuerzo (dispuestas longitudinalmente), de un elemento; así como para resistir otros esfuerzos (p. e. cortarse o torsión), se disponen en el sentido transversal de los elementos varillas en forma de estribos, flejes o espirales que conforman conjuntamente con el refuerzo longitudinal, una «canasta» de acero embebida que da origen al concreto armado.

Cuando el refuerzo transversal forma una envolvente resistente (p. e. en espiral), el material recibe el nombre de concreto zunchado. Para mejorar la capacidad resistente a todo tipo de sollicitaciones mecánicas, también en los últimos años se han desarrollado los concretos microreforzados con fibras metálicas y/o de polipropileno. El concreto armado y/o microreforzado, es entonces una piedra artificial que puede resistir esfuerzos de compresión, tracción, flexión u otros, con buena durabilidad, circunstancia que no se da en las piedras naturales.

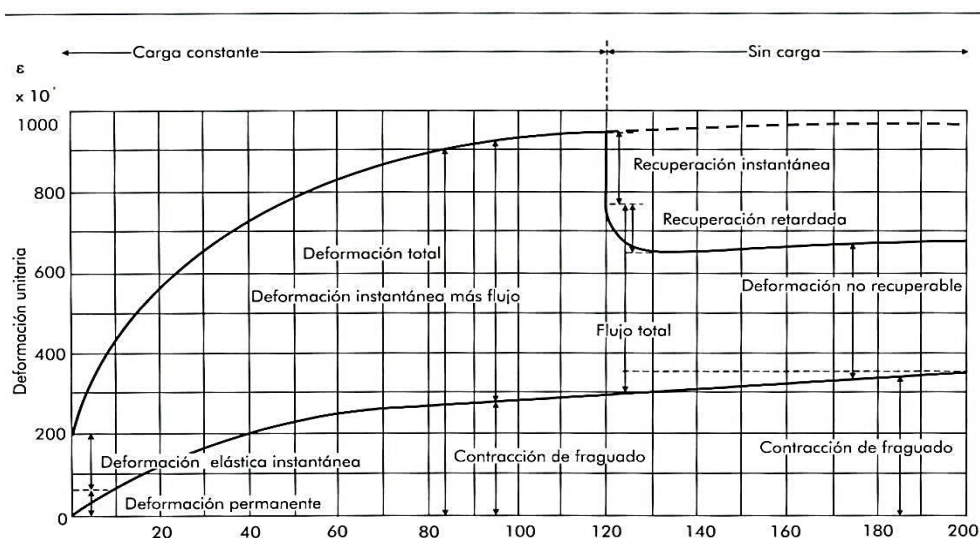
Ello, es debido a la íntima unión que hay entre los materiales, gracias a las fuerzas de adherencia y rozamiento que se desarrollan entre las superficies de contacto de las varillas (y/o el microrefuerzo) con el concreto; así como, a los terminales de las barras en formas de ganchos, pasadores u otros elementos similares.

Para lo anterior, las armaduras normalmente están formadas por barras redondas con diámetros que rara vez superan los 38 mm (para que dispuestas en la cuantía necesaria provean suficiente superficie de contacto); y además presentan nervaduras (corrugado) en su superficie para impedir su deslizamiento dentro del concreto.

### 2.4.3 EFECTOS DE LAS CARGAS – FLUENCIA

Cuando el concreto es cargado, la deformación causada por la carga se puede dividir en dos partes: una deformación que ocurre inmediatamente (deformación elástica) y una deformación dependiente del tiempo, que comienza inmediatamente pero continúa a una tasa decreciente bajo carga sostenida. Esta última es considerada un aumento de la deformación unitaria elástica y es llamada fluencia o flujo bajo carga (cree). La naturaleza del proceso de fluencia se indica esquemáticamente en la (figura 2.22)

En esta figura, se observa que la fluencia del concreto tiene un carácter diferente al flujo plástico que exhiben los metales, pues mientras en estos, los esfuerzos producen una deformación de la estructura cristalina, la cual puede volver a su configuración original por medio de la aplicación de calor; en la fluencia del concreto, se rompen enlaces entre las partículas de cemento hidratado y entre estas y las partículas del agregado. Esta circunstancia, hace que no sea posible recuperar toda la deformación densa después de suprimir la carga aplicada a la estructura.



**Figura 2. 22 CURVA CARACTERISTICA DE FLUENCIA EN UN CONCRETO, A TRAVÉS DEL TIEMPO**

**FUENTE: SANCHEZ, DIEGO, TECNOLOGÍA DEL CONCRETO DEL MORTERO.**

Lo anterior implica, que si se retira una carga sostenida a un elemento de concreto, la deformación unitaria disminuye inmediatamente en una cantidad igual a la deformación unitaria elástica a la edad que tenga el concreto.

Esta recuperación instantánea va seguida por una disminución gradual en la

deformación unitaria llamada recuperación por fluencia.

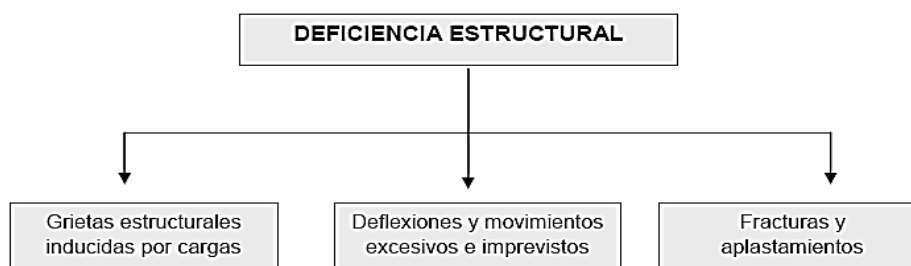
La reversibilidad de la fluencia no es total y por ello queda una deformación irreversible. La magnitud de la fluencia depende de la magnitud del esfuerzo, de la edad y resistencia del concreto cuando la carga es aplicada, y del tiempo durante el cual el concreto esta cargado. Desde luego, también es afectada por otros factores relacionados con la calidad y tamaño máximo del agregado; tipo de cemento y calidad de la pasta; tamaño y forma del elemento estructural; cantidad de acero de refuerzo; y condiciones de curado.

Dentro de rangos de resistencia normales, las deformaciones por fluencia para un concreto determinado son prácticamente proporcionales a la magnitud del esfuerzo aplicado; a un esfuerzo dado, los concretos de alta resistencia muestran menos fluencia que los concretos de resistencia inferior.

Para la determinación de la fluencia del concreto se debe aplicar la norma ASTM C-512

#### 2.4.4 SOBRECARGAS Y DEFORMACIONES IMPUESTAS

Con relación a las sobrecargas y deformaciones impuestas, es claro que si se rebasa la capacidad resistente del material (por precargas, o sobrecargas); o hay deflexiones y movimientos excesivos o imprevistos (asentamiento de terreno; y, deformaciones y colapsos impuestos por eventos fortuitos como el viento, los sismos, las explosiones u otros eventos); o se presentan fracturas y aplastamientos (grietas de apoyo, fracturas de aplastamientos local, fracturas por impacto y desintegración por trituración), las consecuencias se manifiestan mediante deficiencias estructurales (microfisuras, fisuras y/o el colapso de la estructura), según la intensidad del mecanismo de acción.(figura 2.23)



**Figura 2. 23 DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES DEL CONCRETO SIMPLE, REFORZADO PRE ESFORZADO.**

##### 2.4.4.1 GRIETAS ESTRUCTURALES ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

Las grietas estructurales son la consecuencia de esfuerzos que actúan en la sección neta resistente de los elementos estructurales por

aplicación de cargas directas. En realidad, en cualquier elemento de concreto armado es probable que se presente una fisuración relativamente pequeña (con ancho de grietas menos a 0,5 mm), bajo las cargas de servicio normales, siempre y cuando las armaduras no alcancen su límite elástico. Usualmente esta fisuración se presenta en los puntos en que las tensiones son máximas.

Cuando el ancho de las fisuras producidas por la aplicación de cargas directas es grande mayor a 0,5mm), ello indica casi siempre que la condición de los estados límites últimos ha sido incorrecta por alguna de las causas que se enumeran a continuación y entonces el plano de falla generado adquiere la denominación de grieta:

- Por errores de calculo
- Por haberse infravalorado o despreciado los efectos de una determinada hipótesis de carga
- Por no haber dimensionado adecuadamente la sección del elemento estructural
- Por no haber dispuesto suficiente armadura para resistir ciertas sollicitaciones.
- Por escasez de armadura hasta el punto de que bajo las cargas de servicio, el acero haya alcanzado su límite elástico.
- Por inadecuada especificación de los materiales (bajo resistencia estructural del concreto o del acero).

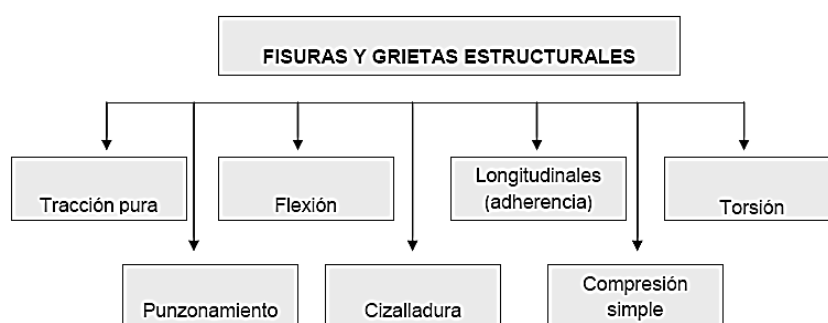
Sin embargo, la fisuración y el agrietamiento también pueden deberse al hecho de que el concreto este sometido localmente a tensiones excesivas. Por ejemplo: el agrietamiento causado por tensiones de adherencia demasiado elevadas (que sigue longitudinalmente la directriz de las armaduras); el agrietamiento causado por cargas puntuales o concentradas (zonas de anclaje de del preesfuerzo); los cambios bruscos de sección en elementos estructurales (uniones de losas esbeltas con vigas relativamente masivas); elementos con presencia de aristas vivas o esquinas agudas (elementos de alta relación área/volumen y geometría inapropiada); elementos que causan restricción al libre movimiento (falta de juntas de dilatación); u otras.

Entre los planos de falla clasificados como grietas estructurales, que se originan como una rotura frágil (aquella que carece de armadura), o como una rotura dúctil (con la presencia de acero de refuerzo), y que son inducidas por precargas, cargas de servicio o sobrecargas,

se encuentran las que se indican en la (figura 2.24)

La fisuración y el agrietamiento causados por esfuerzos de tracción o flexión derivados de posibles deficiencias estructurales, suele ser perpendicular a la dirección del refuerzo longitudinal, dispuesto en la dirección de la tensión principal de tracción.

La existencia de armadura transversal (estribos o flejes), puede hacer que las fisuras se alineen con ella e incluso favorezcan el inicio o la propagación de las mismas fisuras, si el recubrimiento de las varillas de acero de este refuerzo no es suficiente



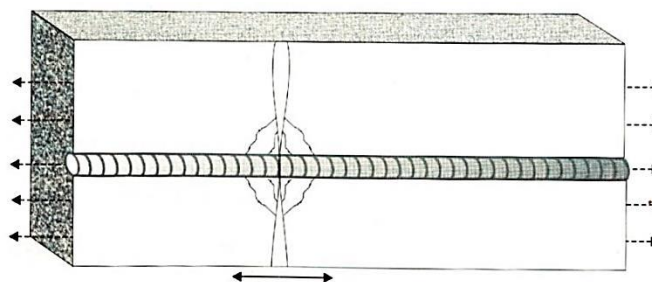
**Figura 2. 24 TIPOS DE FISURAS Y GRIETAS ESTRUCTURALES.**

Desde luego, las fisuras de adherencia, se forman a lo largo de la dirección de las barras del refuerzo principal. Por otra parte, los esfuerzos de corte y tracción provocan fisuras oblicuas que también son transversales a la dirección del acero longitudinal principal.

Las fisuras de torsión también son oblicuas pero continuas y en espiral. El punzonamiento, es propio de losas con deformaciones impuestas locales y ocasiona fallas con geometría troncopiramidal cuya directriz es el área cargada. La cizalladura, implica planos de falla por falta de anclaje entre capas adheridas de concreto. La compresión simple es paralela a la dirección de la carga.

#### **2.4.4.1.1 GRIETAS POR TRACCIÓN PURA**

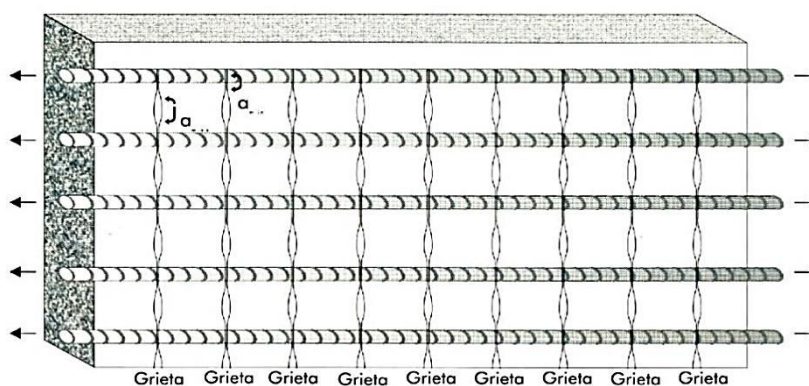
De acuerdo con lo mencionado al principio de esta sección, el concreto simple ofrece una resistencia muy baja a los esfuerzos de tracción (su resistencia a la tracción es apenas del orden de un 10% de su resistencia a la compresión). Por ello, es obvio considerar la tracción pura como el caso más básico de agrietamiento.



**Figura 2. 25 GRIETAS DE TRACCIÓN PURA, CON INTERRUPCIÓN DE LA ADHERENCIA MECANICA ENTRE EL ACERO Y EL CONCRETO**

2.25) y se somete a un esfuerzo de tracción que rebasa su capacidad resistente, se forman planos de falla (fisuras y grietas) transversales a lo largo de toda su sección. Según el ACI 224, para estos casos, la variable que tiene mayor incidencia sobre el agrietamiento del concreto armado es el incremento en los esfuerzos de tracción actuantes sobre el acero; lo cual, provoca de manera súbita una grieta que afecta la unión entre el concreto y la barra de acero en una determinada zona (distancia de deslizamiento), alrededor de la sección agrietada.

Como consecuencia de ello entonces se interrumpe la transferencia de los esfuerzos actuantes por pérdida de la adherencia mecánica entre el acero y el concreto.



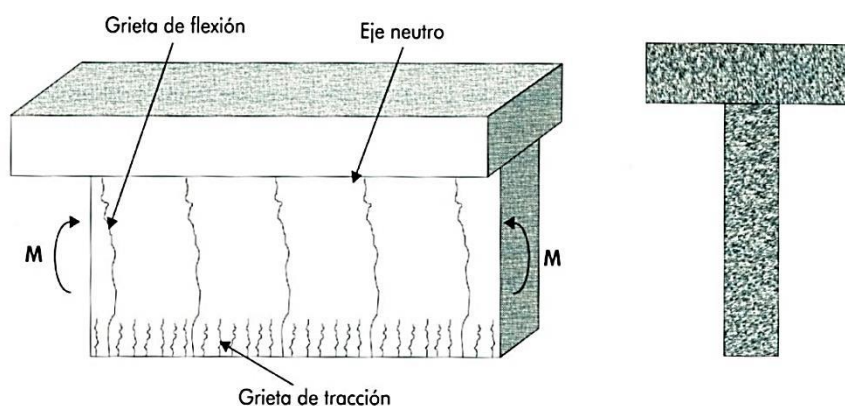
**Figura 2. 26 DETALLE DE LA VARIACIÓN DEL ANCHO DE GRIETA**

Adicionalmente, en estos casos, el ancho de la grieta es mínimo cerca de la barra de acero (pero hay fisuras y microfisuras por el efecto de la conexión) y se incrementa a medida que se aleja de ella (figuras 2.26). Ello, genera patrones de espaciamiento entre grietas como el que se observa.

### 2.4.4.1.2 GRIETAS POR FLEXIÓN

Para una viga, una losa o un muro (figura 2.27), sometidos a esfuerzos de flexión que causan una deformación por pandeo del elemento, se presentan tracciones en la cara sometida a la expansión de su superficie, que originan fisuras y grietas.

Estos planos de falla son de dos tipos: grietas de flexión, que originalmente son fisuras de tracción, las cuales se extienden hasta llegar al eje neutro de la sección; y grietas por tracción, que emergen como una manifestación del aumento de la deformación, se localizan entre las fisuras de flexión y se extienden por encima de las barras de refuerzo.



**Figura 2. 27 GRIETAS POR FLEXIÓN Y TRACCIÓN DE UN ELEMENTO SOMETIDO A ESFUERZOS DE FLEXIÓN.**

Como las grietas por flexión se extienden hasta el eje neutro, es decir hasta donde empieza la zona de compresión, queda revelada así la posición real de este en el elemento; y ello, permite verificar si el refuerzo de tracción al que han sido sometidas las barras de refuerzo.

Anchos pronunciados indican altos esfuerzos por exceso de carga (posibles precargas o sobrecargas ;) por insuficiencia de refuerzo longitudinal principal; y/o por insuficiencia de refuerzo longitudinal entre las barras principales y el área de compresión (es decir, en el alma del elemento).

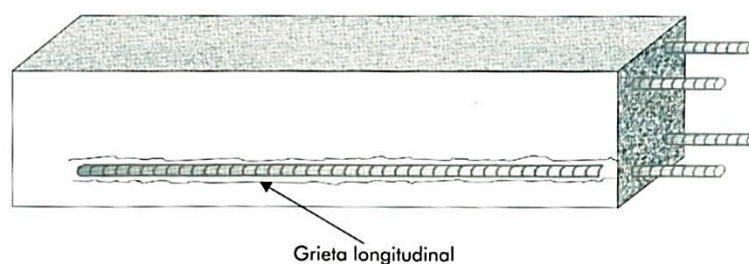
### 2.4.4.1.3 GRIETAS LONGITUDINALES

Aunque las grietas longitudinales, es decir aquellas que se forman a lo largo de la dirección de las barras de refuerzo, se pueden inducir como

consecuencia de los fenómenos de retracción plástica o de asentamiento plástico (también pueden formarse grietas longitudinales por falta de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

Esta situación no es usual en estructuras bien calculadas y construidas, bajo las cargas normales de servicio.

Pero si se presentan, indican un grave deterioro del comportamiento mecánico del elemento y de exposición extrema del acero principal a eventuales sustancias agresivas. Ocasionalmente, la falta de adherencia se presenta porque durante la construcción, las varillas de acero se impregnan de aceites, bentonita o tienen óxido suelto. (figura 2.28)



**Figura 2. 28 GRIETAS LONGITUDINALES POR FALTA DE ADHERENCIA.**

Cuando las grietas longitudinales son de origen mecánico, estas se pueden formar como resultado de los esfuerzos de tracción que producen deformación en las barras del refuerzo principal, provocando a su vez un «sobre esfuerzo local» de compresión entre el concreto y los resaltos del corrugado de las barras de acero, todo el acero longitudinal principal debe estar conformado por barras de acero corrugado y que el acero liso solo es permitido en estribos, flejes y espirales).

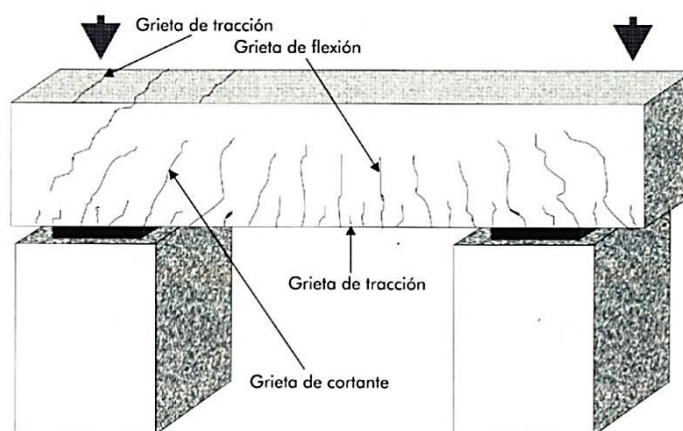
Estos sobre esfuerzos locales de compresión en el concreto, alrededor de las barras de acero, tienden a dividir por fracturamiento la sección transversal del elemento (ver figura 2.28).

Los esfuerzos de tracción que producen deformación en las barras del esfuerzo principal, pueden darse como consecuencia de tracciones excesivas o donde hay fallas de anclaje o traslapeo en una o varias barras de refuerzo (p.e. en sección transversales donde la cantidad de barras cambia, o donde no se da suficiente longitud de desarrollo al traslapeo entre varillas).



#### 2.4.4.1.4 GRIETAS POR CORTANTE

Para el caso de vigas y losas sometidas a esfuerzos de corte (y flexión), la deformación que ocurre puede causar las llamadas «grietas de cortante» que aparecen inclinadas en las zonas cercanas a los apoyos. El ángulo entre las grietas de cortante inclinadas y el eje de la viga, es de aproximadamente  $45^\circ$  (zona de máximo cortante y mínimo momento de flexión, por cargas verticales). Algunas veces, si existen fisuras de tracción en la parte superior de la viga (que se han causado por momentos negativos de flexión cerca al apoyo), estas tienden a unirse con las grietas de cortante (ver figura 2.29).

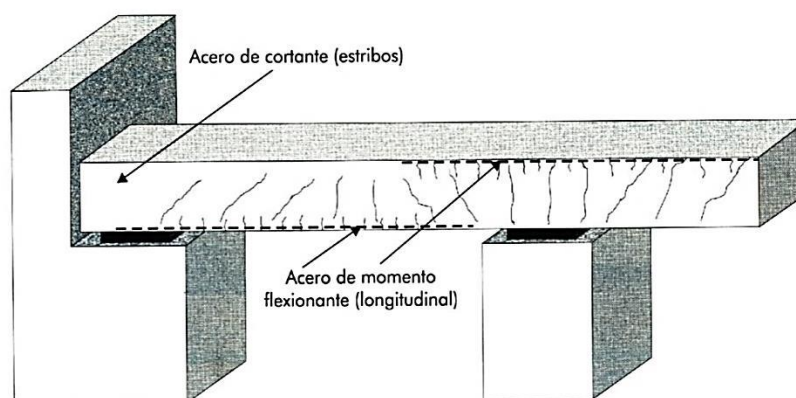


**Figura 2. 29 GRIETAS POR CORTANTE, FLEXIÓN Y TRACCIÓN DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.**

Sin embargo, las grietas de cortante no solamente pueden aparecer en las zonas cercanas a los apoyos; también pueden presentarse en el centro de la luz de un elemento, sobre todo si hay cargas puntuales y/o pocos estribos, en cuyo caso la grieta que se presenta obedece a un esfuerzo combinado de cortante y flexión.

Este tipo de agrietamiento se considera serio desde el punto de vista mecánico.

Al observar la (figura 2.30), para una viga simplemente apoyada, se puede apreciar que en la zona comprendida entre apoyos, las grietas por flexión serán más o menos inclinadas, dependiendo de la magnitud de esfuerzo cortante y de la relación que exista entre los esfuerzos cortantes y flexión.

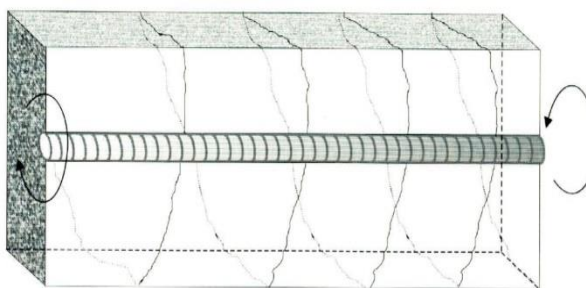


**Figura 2. 30 GRIETAS POR CORTANTE, FLEXIÓN Y TRACCIÓN A LO LARGO DE UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA.**

Las grietas de cortante, siempre atraviesan todo el espesor de la viga y su ancho depende de la sección de la viga (ancho grande en secciones altas y esbeltas) y/o la magnitud de los esfuerzos de cortante (mas anchas si el esfuerzo es grande).

#### **2.4.4.1.5 GRIETAS POR TORSIÓN**

Los esfuerzos de torsión en un elemento estructural como una viga, causan grietas transversales e inclinadas similares a la grietas de cortante, pero difieren de estas ultimas en que siguen un patrón de espiral que atraviesa toda la sección de los miembros afectados (ver figura 2.31).

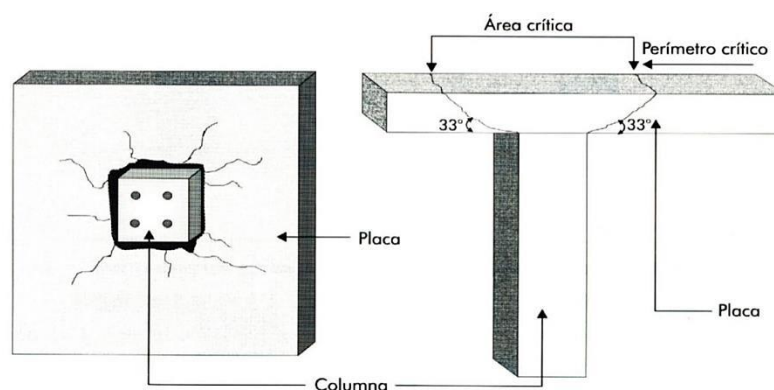


**Figura 2. 31 PATRÓN DE LAS GRIETAS POR TORSIÓN EN UNA VIGA PRISMÁTICA**

#### 2.4.4.1.6 GRIETAS POR PUNZONAMIENTO

La condición del estado límite último por punzonamiento se alcanza en elementos que experimentan tracciones que se originan por tensiones tangenciales, que a su vez son motivadas por una carga o reacción localizada en un área relativamente pequeña.

Este fenómeno de falla, se caracteriza por la formación de una superficie de fractura en forma de tronco de pirámide, cuya directriz es el área cargada. Usualmente, la falla es del tipo frágil, lo cual denota falta de refuerzo en la zona.

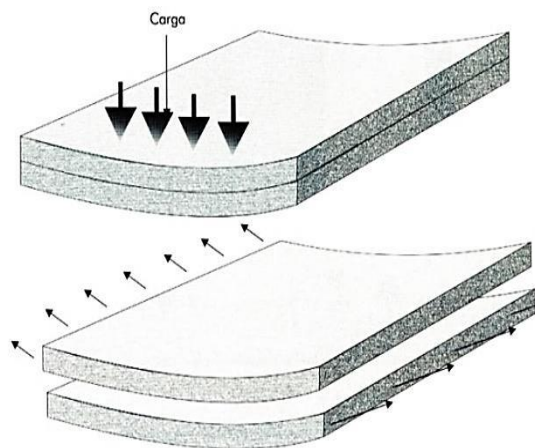


**Figura 2. 32 PATRÓN DE FALLA LOCAL POR APLASTAMIENTO DEBIDO A UNA CARGA CONCENTRADA EN UNA COLUMNA.**

Un ejemplo típico, se puede apreciar en la (figura 2.32) donde se muestra una losa de concreto armado que descansa sobre una columna. En esta figura, se puede observar, que el ángulo de la fractura es de aproximadamente  $33^\circ$ .

#### 2.4.4.1.7 FALLA POR CIZALLADURA

Este fenómeno generalmente se presenta en secciones compuestas de concreto armado que se conforman por un elemento de concreto prefabricado y una sobrecarpeta o torta de concreto vaciado «in situ» (ver figura 2.33). Allí la resistencia al esfuerzo de cizalladura debe garantizarse mediante un anclaje mecánico (varillas en forma de «U» invertida) y algunas veces químico (puente de adherencia epóxico o acrílico), que busque la integridad estructural de los dos elementos.



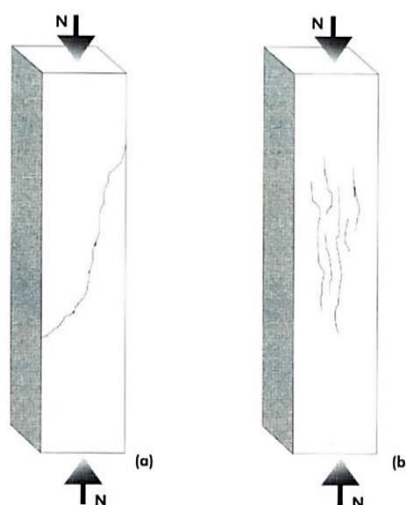
**Figura 2. 33 PATRÓN DE FALLA POR CIZALLADURA EN UNA LOSA COMPUESTA DE CONCRETO.**

Si el anclaje es adecuado, la pieza conservara el monolitismo y la integridad estructural. Pero su la cuantía de la armadura de «cosido», es baja se presentara una falla dúctil por cizalladura; y si carece de armadura, se presentara una falla frágil de cizalladura.

#### **2.4.4.1.8 GRIETAS POR COMPRESIÓN SIMPLE**

Cuando un elemento de concreto como una columna esta sometida a una carga axial, se produce un esfuerzo de compresión simple que actúa sobre toda la sección transversal de la columna.

Si se rebasa la capacidad resistente de la columna a la compresión, entonces ocurre una fisuración que es paralela a la dirección larga de la columna y que no necesariamente es superpuesta a las varillas de la armadura, como se puede apreciar en la (figura 2.34). Cuando el patrón es oblicuo, puede estar indicando que el concreto está seco.



**Figura 2. 34 PATRÓN DE FALLA POR COMPRESIÓN SIMPLE EN UNA COLUMNA**

#### **2.4.4.2 DEFLEXIONES Y MOVIMIENTOS EXCESIVOS E IMPREVISTOS**

##### **2.4.4.2.1 ASENTAMIENTO DEL TERRENO**

Cuando hay un diseño inapropiado de la fundación de una construcción, pueden darse movimientos diferenciales dentro de la estructura. Si el movimiento diferencial es relativamente pequeño, los problemas de fisuración probablemente sean de naturaleza visual. Pero, si se presentan asentamientos diferenciales significativos, la estructura puede no ser capaz de redistribuir las cargas con suficiente rapidez y efectividad, de manera que se pueden presentar fallas y fracturas. Desde luego, una de las ventajas de concreto armado es que si el movimiento ocurre durante un largo periodo de tiempo, el flujo bajo carga permitirá que alguna parte de la carga pueda ser redistribuida.

##### **2.4.4.3 FRACTURAS Y APLASTAMIENTOS**

Dentro de los fenómenos que originan fracturas y aplastamientos en el concreto, se encuentran las grietas de apoyo; los planos de falla por aplastamiento local; las fracturas y los descascaramientos por impactos; y la desintegración por trituración.

### 2.4.4.3.1 GRIETAS DE APOYO

Cuando se tienen elementos simplemente apoyados, apoyados, como por ejemplo vigas, se pueden generar fracturas y fallas de borde que están en conexión con las zonas de apoyo. Entre ellas, pueden darse varias modalidades, las más usuales son las siguientes

#### 2.4.4.3.1.1 FRACTURA POR RIGIDEZ DEL APOYO

Ocurre cuando la conexión (junta de dilatación) entre el elemento que se apoya y el elemento de apoyo no tiene una transición adecuada mediante un elemento de amortiguamiento como un «cojín de neopreno». Usualmente, la fractura ocurre como consecuencia de: los movimientos y esfuerzos horizontales que experimenta la zona del apoyo, por los ciclos de dilatación y contracción térmica; y/o por la rotación que experimenta el elemento apoyado, lo cual puede inducir un sobre esfuerzo lo cal de compresión al concreto de la esquina del elemento de apoyo (ver figura 2.35).

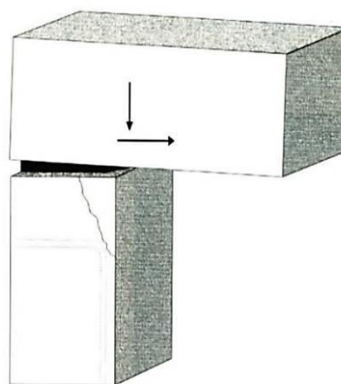
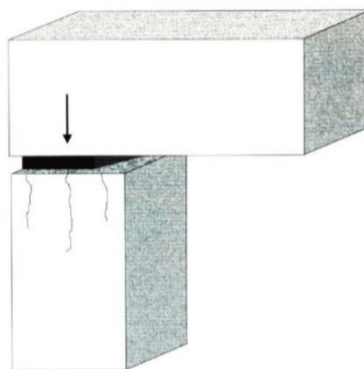


Figura 2. 35 PATRÓN DE FRACTURA DE BORDE, POR RIGIDEZ DEL APOYO.

#### 2.4.4.3.1.2 FRACTURA INDUCIDA POR EL RECUBRIMIENTO

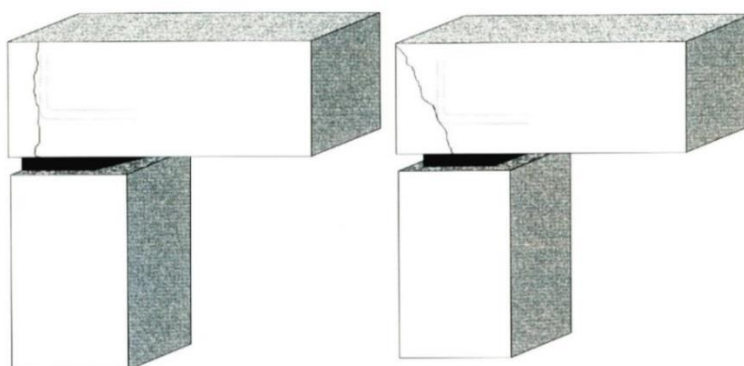
Ocurre en ciertas ocasiones, cuando el material de transición y amortiguamiento se sitúa muy cerca del borde de los elementos y por ello se induce un plano de falla que descascara el recubrimiento de las barras principales del refuerzo que se encuentran dobladas (ver figura 2.36).



**Figura 2. 36 PATRÓN DE FRACTURA INDUCIDA POR EL RECUBRIMIENTO.**

#### **2.4.4.3.1.3 FRACTURA POR FALTA DE REFUERZO EN EL BORDE**

Este tipo de fisura ocurre cuando el borde del extremo de una viga que se apoya sufre esfuerzos de compresión y/o tracción locales, y no se ha reforzado suficientemente o el refuerzo principal está compuesto por varillas de gran diámetro que al ser dobladas requieren de un amplio radio de doblado que no se cumple (ver figura 2.37).

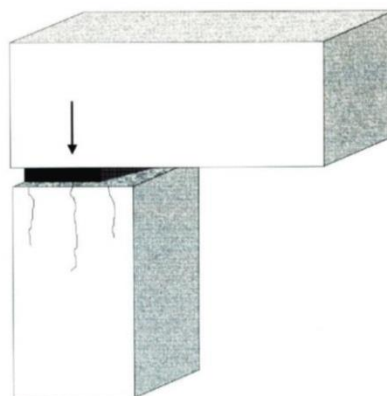


**Figura 2. 37 PATRÓN DE FRACTURA INADECUADO EN EL BORDE**

#### **2.4.4.3.2 FRACTURAS POR APLASTAMIENTO LOCAL**

Las fracturas y grietas por aplastamiento tienen su origen en la alta concentración de cargas que a veces se dan en las zonas de apoyo de elementos simplemente apoyados, o en las zonas de anclaje para el pre-esfuerzo de torones y cables.

Cuando el aplastamiento ocurre por una carga concentrada, el patrón de falla se localiza directamente debajo de esta, que tiende a dividir la sección de concreto localmente (figura. 2.38)



**Figura 2. 38 PATRÓN DE FALLA LOCAL POR APLASTAMIENTO DEBIDA A UNA CARGA CONCENTRADA EN UNA COLUMNA.**

#### **2.4.4.3.3 FRACTURAS POR IMPACTOS**

En cuanto a los impactos y las vibraciones, ambos pueden iniciar o propagar las grietas. Es raro encontrar cargas de impacto en las estructuras, pero cuando exista la probabilidad de su presencia, es recomendable utilizar un criterio de diseño conservador para que el agrietamiento sea el mínimo posible.

Por ejemplo, para maquinaria pesada en contacto con una estructura, suele utilizarse un factor de impacto del orden del 25% del peso de la maquina. (figura 2.39)



**Figura 2. 39 CARGA DE IMPACTO EN COLUMNA DE PARQUEO EJEMPLO DE DISPOSICIÓN DEL ACERO PARA CONTROL DE LA RETRACCIÓN Y LOS CAMBIOS DE VOLUMEN POR TEMPERATURA.**



#### **2.4.4.3.4 DESINTEGRACIÓN POR TRITURACIÓN**

La desintegración por trituración, se da como consecuencia de la fatiga del material ante diferentes sollicitaciones mecánicas pero principalmente por el efecto de cargas concentradas que desintegran el concreto donde este experimenta sobre esfuerzos de compresión

#### **2.4.5 VIBRACIONES EXCESIVAS**

El efecto de la vibración es especialmente acumulativo y las grietas preexistentes o nuevas continúan desarrollándose a medida que para el tiempo.

Por lo tanto, es importante hacer un diseño por cargas dinámicas y la clave de un diseño dinámico satisfactorio consiste en asegurar que la frecuencia natural de la estructura de apoyo de la fuente vibrante (maquinaria u otra), sea significativamente diferente de la frecuencia de la fuerza perturbadora.

Si ambas frecuencias son aproximadas, la vibración resonante se establecerá en el apoyo de la estructura. Para minimizar las vibraciones resonantes, las relaciones entre las frecuencia natural de la estructura y la frecuencia de la fuerza trastornante debe mantenerse fuera del rango de 0,5 a 1,5.

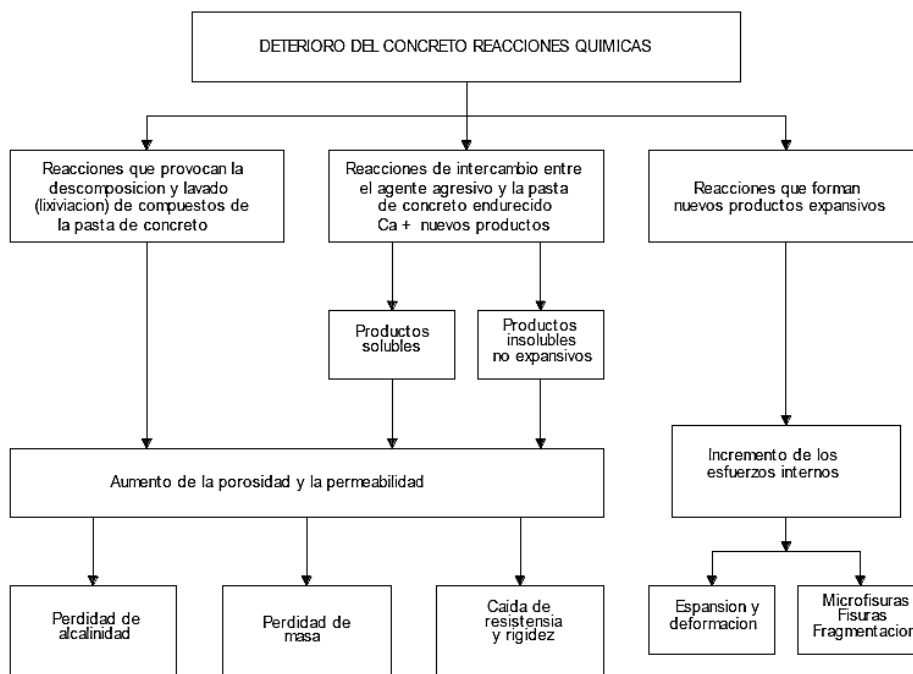
### **2.5 ACCIONES QUÍMICAS.**

#### **2.5.1 GENERALIDADÉS**

El ataque, degradación y/o desintegración del concreto, como consecuencia de su contacto con sustancias químicas agresivas que se pueden encontrar en forma líquida, gaseosa a aun sólida (aunque usualmente los productos químicos agresivos deben presentarse en solución y en una concentración crítica), es uno de los temas mas estudiados dentro de la patología del concreto, en los últimos años. Como se vio, las acciones químicas sobre el concreto, están muy ligadas a la condición de exposición y sobre todo al micro clima que rodea a la superficie del concreto.

Como mecanismos de deterioro del concreto por reacciones químicas de este ante un agente agresor, se pueden mencionar: las reacciones que provocan la descomposición y el lavado (lixiviación) de los compuestos de las pastas de cemento endurecido que generan productos solubles e insolubles no expansivos; y las reacciones que forman nuevos productos que

son expansivos. (Ver figura 2.40)



**Figura 2. 40 DETERIORO DEL CONCRETO POR REACCIONES QUÍMICAS.**

En todas estas reacciones, las sustancias agresivas (iones y moléculas), se trasladan desde la fuente contaminante, usualmente desde el medio ambiente (aire o sumergido), hasta la superficie o el interior de la masa, donde se desarrollan las reacciones químicas que haya lugar con las diferentes sustancias reactivas del concreto.

En general, las reacciones entre las sustancias agresivas y las sustancias reactivas del concreto, tienen lugar tan pronto estas se ponen en contacto. Sin embargo, dependiendo de la concentración y velocidad de transporte de las sustancias agresivas (tanto del exterior como a través del propio interior del concreto), estas reacciones pueden presentar manifestaciones inmediatas, o daños a largo plazo.

Pero además, como se estudio en el primer capítulo, la presencia de humedad, la condición de temperatura y el estado de la presión, también tienen una alta incidencia sobre la velocidad de las reacciones químicas que se efectúen. Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones químicas están, el ataque de ácidos, la lixiviación por aguas blandas, la carbonatación, la formación de las sales expansivas (ataque de sulfatos), y la expansión destructiva de las reacciones álcali-agregado.

## 2.5.2 ATAQUE DE ÁCIDOS

Es un hecho bien conocido que la pasta de cemento portland endurecido, el elemento que mantiene adherido el concreto, es un material silico-calcáreo con un fuerte carácter básico, cuyo pH es del orden de 13 y por lo tanto susceptible al ataque de cualquier vapor de ácido o ácido líquido, por débil que fuese.

El mecanismo de deterioro de concreto causado por ácidos generalmente es el resultado de una reacción entre estas sustancias (agente agresor) y todos los compuestos cálcicos (hidróxido de calcio, silicato cálcico hidratado y aluminato cálcico hidratado), del cemento Portland hidratado, que se convierten en sales cálcicas de ácido actuante.

Por ejemplo, entre los ácidos inorgánicos, el ácido clorhídrico origina cloruro cálcico, el cual es muy soluble; la acción del ácido sulfúrico produce sulfato cálcico, que se precipita como yeso; y el ácido nítrico, da como resultado nitrato de calcio, que también es bien soluble.

Con los ácidos orgánicos, sucede algo similar; por ejemplo la acción del ácido láctico produce lactatos cálcicos y el ácido acético da lugar al acetato cálcico.

En la tabla 2.1, se indican los principales ácidos inorgánicos, orgánicos y minerales que son dañinos para el concreto.

**Tabla 2.1 ACIDOS Y SUSTANCIAS DAÑINAS PARA EL CONCRETO**

<b>ACCIONES INORGANICAS Y</b>	<b>ACIDOS ORGANICOS</b>
Acido clorhídrico	Acido acético
Acido brómico	Acido fórmico
Acido carbónico	Acido láctico
Acido de cromo	Fenol
Acido fluorhídrico	Acido tónico
Acido fosforito	Acido butílico
Hidrogeno sulfurado	Acido úrico
Acido nítrico	Micro-organismos
Acido sulfúrico	Acido húmico
Acido sulfuroso	

**FUENTE: SANCHEZ, DIEGO, DURABILIDAD Y PATOLOGÍA DEL CONCRETO**

Por lo anterior, no existen los concretos resistentes a los ácidos y por ello, deben protegerse de su acción mediante barreras impermeables y resistentes que los protejan del contacto directo. La velocidad de la reacción de la pasta

de cemento del concreto con los diferentes ácidos inorgánicos y orgánicos, desde luego esta determinada por la agresividad del ácido atacante; pero, la solubilidad de la sal cálcica resultante es la que determina la velocidad de degradación del concreto.

Si la sal cálcica es muy soluble, esta fluye y por lo tanto el deterioro es más rápido. Se indica la velocidad de ataque de ciertos ácidos, a temperatura ambiente. Entre las muchas sustancias que se encuentran en el medio ambiente que rodea una estructura y que pueden derivar en ácidos que atacan el concreto se tienen las siguientes:

- Los productos de combustión de un gran número de combustibles contienen gases sulfurosos que se combinan con la humedad y forman ácido sulfúrico.
- El agua de algunas minas, algunas aguas industriales y las aguas residuales o negras, pueden contener o formar ácidos, particularmente ácidos sulfúricos y sulfurosos.
- Los suelos que contengan turbas pueden tener sulfuro de hierro (pirita), que al oxidarse produce ácido sulfúrico con el agravante de que alguna reacción posterior puede producir sales sulfatadas, que a su vez producirán ataques de sulfatos.
- Las corrientes de aguas en regiones montañosas, son a veces ligeramente ácidas debido a que contienen bióxido de carbono libre disuelto, a algunos ácidos orgánicos.
- El ácido carbónico disuelve la cal del concreto, mas no la alúmina. Las aguas blandas, al igual que los ácidos, disuelven los compuestos cálcicos del concreto; por lo tanto, el resultado es la degradación y destrucción de la pasta de cemento.
- Los ensilajes agrícolas, industrias manufactureras o de procesamiento tales como: fermentadoras, lecherías, destilerías, producción de jugos cítricos, carnicerías, productos de pulpa de madera, o caña de azúcar, producen ácidos orgánicos, que también agraden el concreto.

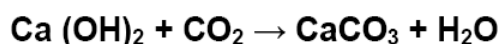
### 2.5.3 CARBONATACIÓN

La carbonatación, es un tipo particular de reacción ácida, pero de excepcional importancia en la durabilidad del concreto. Se debe a la penetración por difusión del dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), del aire atmosférico o del suelo, en la estructura porosa de la superficie del concreto.

El proceso origina los siguientes fenómenos:

- El gas carbónico se disuelve en algunos de los poros y reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto produciendo ácido carbónico.
- El ácido carbónico, convierte el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , liberado y depositado en los poros durante la hidratación del cemento (conocido como la cal libre del cemento), en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y agua.

La reacción tiene la siguiente forma:



- Ocurre un descenso significativo del pH en la capa superficial del concreto (de su valor usual de 13, baja hasta valores del orden de 9), y al perder su basicidad deja de ser un elemento protector de la corrosión del acero de refuerzo es decir, que a medida que avanza la penetración de la carbonatación, conocida como “frente de carbón”, se pierde el efecto de la capa de pasividad que tiene el recubrimiento del concreto.
- Tiene lugar una retracción adicional en el concreto (como consecuencia de la disminución en el volumen de la pasta de cemento), conocida como “contracción por carbonatación”. Esta contracción adicional, se suma a la contracción por secado.
- El proceso es mas intenso, cuanto mas importantes son los cambios de humedad y mas elevada la temperatura. Este fenómeno también se presenta de manera significativa en ambientes cuya humedad relativa se encuentra entre 65% y 98% .Si el concreto permanece saturado o esta permanente seco, no hay carbonatación.
- De otra parte, el proceso también es mas intenso en la medida en que sea mayor la permeabilidad del concreto de ahí la importancia de trabajar con mezclas cuyas relación agua-cemento esta por debajo de 0.5 y además bien curados.

Originalmente se consideraba que la carbonatación podía ocurrir solamente por penetración de  $\text{CO}_2$ , del aire atmosférico sin embargo, se ha comprobado que también puede suceder por presencia de  $\text{CO}_2$  en el suelo. En este ultimo caso, puede suceder que la lluvia absorba dióxido de carbono y penetre en el suelo en forma de ácido carbónico; o que en las aguas freáticas o subterráneas este presente este ácido; o simplemente que se aporte  $\text{CO}_2$  adicional a través del ácido húmico que se forma por descomposición de la materia orgánica.

- De cualquier manera, lo anterior conduce a que pueda haber CO<sub>2</sub> en el suelo y que este penetre el concreto. pero esta en movimiento, ello puede producir una carbonatación apreciable de la pasta de cemento, si hay ciclos de humedecimiento y secado. De manera aproximada, la profundidad de la carbonatación es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo,
- La cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera cercana a la superficie del concreto (ver tablas 2.3 y 2.4) y su velocidad de difusión al interior del concreto.
- El tipo y cantidad de cemento en el concreto. Por ejemplo, los cementos siderúrgicos, experimentan mayores profundidades de carbonatación que los cementos Portland convencionales.
- La compactación de de la capa de recubrimiento del concreto. El tamaño y volumen de los macroporos y los poros capilares del concreto y/o la presencia microfisuras, fisuras y planos de falla. El concreto permeable se carbonata más rápidamente.
- El tiempo y perfección de los procedimientos de curados del concreto. Se ha comprobado que la carbonatación es mayor, en la medida en que el tiempo de curado haya sido menor.

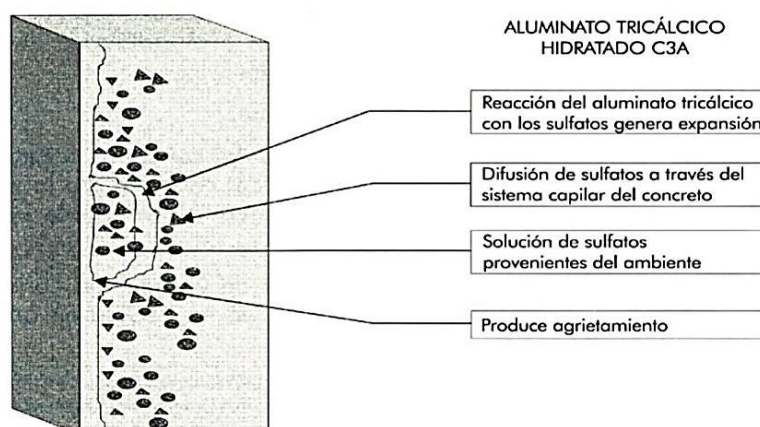
#### **2.5.4 ATAQUE DE SULFATOS**

Algunos sulfatos de sodio, calcio, potasio, y magnesio que están naturalmente el suelo o disueltos en el agua freática o en la atmósfera pueden acumularse sobre la superficie del concreto incrementando a su concentración y por lo tanto el riesgo de deterioro. Los mecanismos que intervienen en el ataque del concreto por sulfatos, son dos reacciones químicas.

- Combinación de los sulfatos con hidróxido de calcio (calibre), que forman sulfato de calcio (yeso).
- Combinación de yeso con aluminio hidratada de calcio para formar sulfoaluminato de calcio (etringita).
- Estas dos acciones tienen como resultado un aumento del volumen solidó (en aproximadamente un 18%), y a la segunda se le atribuyen la mayoría de las expansiones,
- De acuerdo con neville, las consecuencias del ataque de sulfatos no solo producen degradación por expansión y fisuración; si no también, una reducción en la resistencia mecánica debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento. Desde luego, lo anterior también

conlleva una pérdida de adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de los agregados.

- El deterioro por lo general, comienza en las aristas y esquinas agudas, siguiendo una microfisuración y una fisuración que astilla el concreto y lo reduce a una condición friable y blanda.
- Entre los sulfatos de origen natural, se pueden mencionar algunos suelos orgánicos, suelos que contengan turbas, algunos suelos arcillosos o aguas freáticas de estos mismos suelos, que pueden producir sales sulfatadas. (figura 2.42)



**Figura 2. 41 MECANISMOS DE DETERIORO DEL CONCRETO POR ATAQUE DE SULFATOS**

Los sulfatos en forma de sales mas agresivas, son: el sulfato de amonio ( $\text{NH}_4\text{SO}_4$ ), el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ , yeso), el sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), el sulfato de sodio ( $\text{NaSO}_4$ ), las concentraciones máximas de los iones correspondientes, se pueden ver en algunos sulfatos menos agresivos, pero de todas maneras dañinas son: el sulfato de cobre, el sulfato de aluminio y el sulfato de bario, que son insolubles en el agua.

Otra fuente natural de sulfatos, es el agua de mar, que aparte de contener sales de sulfatos, está compuesta por otras sales, cuya acción química de conjuntos pueden ser supremamente agresivas con el concreto.

Entre las sales disueltas más comunes en el agua de mar están: cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ), sulfato de magnesio ( $\text{MgCl}_4$ ), sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ), sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), en la tabla 2.2, se indican los intervalos de salinidad de diferentes aguas.

**Tabla 2. 2 SALINIDAD DE DIFERENTES AGUAS**

PROCEDENCIA.	SALINIDAD.(g/l)
Océano Atlántico	33.5 a 37.4
Océano Pacífico	34.5 a 36.9

**FUENTE: DIEGO, SANCHEZ; DURABILIDAD Y PATOLOGÍA DEL CONCRETO**

Como sulfatos de origen biológico se pueden considerar aquellos que provienen de la presencia de microorganismos sobre la superficie el concreto o de aguas residuales que experimentan descomposición biológica de carácter aeróbico en sustancias orgánicas albuminoideas que habitualmente contiene proteínas u/o azufre. También los abonos artificiales y el estiércol incrementan en forma importante el contenido de sulfatos en el suelo.

Entre los sulfatos de origen industrial, se destacan las que proceden de aguas residuales con derivados orgánicos e inorgánicos del azufre, especialmente sulfatos (aguas domesticas) y sulfitos  $SO_3^{2-}$  (aguas industriales). También están las que provienen de plantas industriales y aguas de fertilizantes, galvanizados, laboratorios fotográficos, coque, u otros los cuales penetran el suelo y/o las aguas subterráneas.

Por otra parte, en zonas industriales y en zonas urbanas donde hay combustión de carbón o gasolina con azufre, se libera dióxido de azufre que en presencia de de oxígeno y humedad formando ácido sulfúrico.

Las lluvias ácidas también contienen sulfatos en forma de solución diluida de ácido sulfúrico, el cual ataca la superficie del concreto endurecido. Entre los factores que más contribuyen con la acción expansiva de los sulfatos se encuentran las siguientes:

- Las condiciones de exposición del concreto.
- La presencia de humedad
- La permeabilidad del concreto, que influye en la velocidad de transporte de los iones de sulfatos.
- La composición del concreto, principalmente el tipo y cantidad de cemento (contenido de C3A).



## 2.6 ACCIONES BIOLÓGICAS

### 2.6.1 GENERALIDADES

Aunque la contaminación atmosférica es un importante factor de deterioro del concreto, la actividad biológica juega también un papel preponderante debido a sus interacciones con el material. La presencia de organismos y microorganismos de origen vegetal o animal sobre las estructuras de concreto, no solamente pueden afectar el confort ambiental y la estética de las construcciones, sino que también puede producir una gran variedad de daños y defectos de carácter físico, mecánico, químico o biológico.

Lo anterior permite identificar cuatro tipos de degradación ambiental: biofísico, biomecánico, bioquímico y biológico propiamente dicho. Los dos primeros, afectan principalmente la permeabilidad, la resistencia y la rigidez del concreto; mientras que, los dos segundos, provocan la transformación de los compuestos del cemento endurecido y/o los agregados del concreto.

A manera de ejemplo, la vegetación situada sobre una estructura puede retener agua sobre la superficie del concreto, conduciendo a la saturación del material y por lo tanto a causar daños físicos por acción de ciclos de humedecimiento y secado o daños por congelamiento y deshielo.

Esa misma vegetación, también puede causar daños mecánicos por penetración de las raíces de plantas, arbustos y árboles, a través de juntas, fisuras y puntos débiles, que al crecer generan fuerzas de expansión que incrementan la fisuración y el deterioro.

Además, durante el cumplimiento del ciclo de vida de esa vegetación (nacimiento, crecimiento, desarrollo, muerte y descomposición), se producen sustancias que pueden causar ataques químicos al concreto (p. e. ácidos tánicos, ácidos húmicos, sales, u otros). Pero también, puede ocurrir un deterioro del concreto por acciones biológicas o microbiológicas como consecuencia de la asimilación de compuestos del propio material o por la excreción de productos agresivos (metabolitos ácidos), que causan la disolución de la pasta de cemento.

Del mismo modo, los organismos y microorganismos de origen animal, pueden afectar la superficie y el interior de la masa del concreto, por acciones físicas (p. e. cambios de humedad que causan manchas y cambios de color); por acciones mecánicas (sobrecargas por la presencia de incrustaciones y capas de colonias establecidas) por acciones químicas (agresión química por fluidos orgánicos como la sangre, los jugos gástricos, los lixiviados de

descomposición, u otros; o materiales excretados como el estiércol o la orina); o por acciones biológicas o microbiológicas (p. e. bacterias que consumen algunos compuestos del concreto)

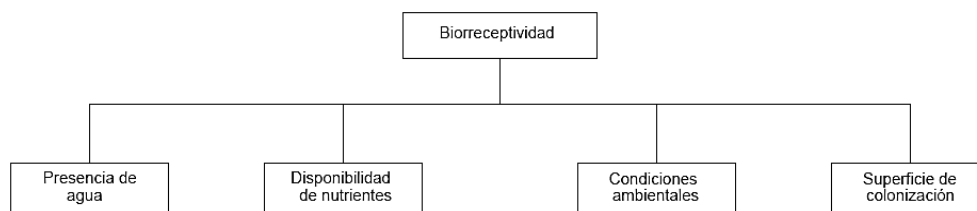
Por lo anterior, el deterioro de origen biológico de ser identificado, estudiado, prevenido y tratado, con la misma importancia que cualquiera de los otros mecanismos de daño que se han estudiado hasta el momento.

Sin embargo, la patología moderna del concreto tiende a asociar este tipo de deterioro más con la acción de los microorganismos que de los organismos se definirán algunos conceptos básicos como biorreceptividad, biocapa, biodeterioro y biocorrosión. Se clasificarán los microorganismos según su origen; y finalmente, se hará referencia a los diferentes tipos de ataque biológicos: mecanismos de acción, ciclos de azufre, biocorrosión de materiales metálicos y biodegradación de hidrocarburos.

## 2.6.2 CONCEPTO DE BIORRECEPTIVIDAD

La biorreceptividad del concreto, como la de cualquier otro material, hace referencia al estudio de todas aquellas propiedades del concreto que contribuyen o favorecen la colonización, establecimiento y desarrollo de microorganismos de origen animal o de origen vegetal, y que afectan su durabilidad como material de una construcción.

Pero además, para que la biorreceptividad del concreto funcione, se requieren cuatro condiciones: presencia de agua, disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales apropiadas, y superficie de colonización (ver figura 2.43)



**Figura 2. 42 CUADRO DE LAS CONDICIONES DE LA BIORRECEPTIVIDAD**

### 2.6.2.1 PRESENCIA DE AGUA

Todas las formas de vida conocidas en la tierra, necesitan del agua para crecer y reproducirse. De manera que, para que haya deterioro biológico se requiere agua; y esta puede proceder de fuentes externas (humedad

del medio ambiente) o estar presente en los poros del concreto (humedad relativa efectiva).

### **2.6.2.2 DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES**

De igual modo que con el agua, los microorganismos forman colonias donde hay fuentes disponibles de nutrientes. El medio ambiente puede ser una fuente, las sustancias que se depositan o impregnan la superficie del concreto pueden ser otra fuente, y el mismo concreto puede constituirse también en una fuente de alimentación. El medio ambiente contiene muchos gases y partículas que pueden servir como alimento de diferentes microorganismos.

Por ejemplo, las bacterias autotróficas se alimentan del CO<sub>2</sub> atmosférico. También, muchos contaminantes del aire o del suelo, como los hidrocarburos de aceites lubricantes y gasolina, pueden ser utilizados como alimento de microorganismos.

Entre las sustancias depositadas o impregnadas, la materia orgánica siempre ha sido fuente de alimento para las bacterias heterótrofas y los hongos. De igual manera, la descomposición de un cierto y determinado microorganismo puede ser fuente de alimento para el crecimiento posterior de otros géneros.

### **2.6.2.3 CONDICIONES AMBIENTALES**

Aunque el microclima que rodea la superficie del concreto, es determinante para el desarrollo de microorganismos, hay ciertos géneros que pueden sobrevivir por largos períodos de tiempo en condiciones muy adversas.

Por ejemplo, la presencia de oxígeno no siempre es necesaria o determinante, las bacterias anaeróbicas viven en concentraciones de oxígeno inferiores a 0.1 mg/l; mientras que las aeróbicas lo hacen con concentraciones de oxígeno superiores a 1g/l. Los valores de pH próximos a 7 (neutro) y un intervalo de temperatura entre 20 °C y 35 °C, favorecen sustancialmente la multiplicación, crecimiento y desarrollo de colonias de microorganismos. Pero los microorganismos, también pueden cambiar el microclima alterando el pH, la concentración de oxígeno, favoreciendo la acumulación y mantenimiento de cierto nivel de humedad y/o desarrollando y manteniendo cierto nivel de temperatura.

#### **2.6.2.4 SUPERFICIE DE COLONIZACIÓN**

Para que se establezcan los asentamientos y colonias de microorganismos sobre la superficie del concreto, deben establecerse unos mecanismos de fijación, y ellos se dan en virtud de la textura que ofrece la superficie de anclaje.

Usualmente, las texturas rugosas y porosas ofrecen mejores condiciones para el asentamiento porque favorecen la retención de agua y el crecimiento del microorganismo invasor; aunque, algunas superficies lisas y densas también pueden servir como superficie de invasión.

En general, se ha demostrado que el mortero es más biorreceptivo que el concreto, probablemente su composición tenga alguna influencia.

De otra parte, las estructuras que se encuentran relacionadas con la industria de la alimentación, sistema de tratamientos de aguas residuales, procesamiento de materiales de origen orgánico, transporte de hidrocarburos, etc., son estructuras que favorecen la presencia de agua, nutrientes y posiblemente temperaturas confortables para la proliferación de microorganismos

### **2.7 CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.**

#### **2.7.1 GENERALIDADES**

En condiciones normales el concreto proporciona a las armaduras embebidas en él una protección adecuada contra la corrosión, por dos motivos.

En primera instancia, porque el oxígeno presente en el concreto reacción con el acero formando una fina capa o película de óxido sobre la armadura, que es conocido como el proceso de pasivación y que la protege de cualquier corrosión posterior.

En segundo lugar, si la calidad, espesor y densidad del recubrimiento son apropiados, se mantendrá el carácter básico del concreto y no habrá carbonatación o penetración de agentes agresivos.

Es decir, que el acero de refuerzo no se oxida en el concreto debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento (pH hasta de 13) y a su resistencia eléctrica específica que es relativamente alto en condiciones de exposición atmosférica. Pero si por alguna razón se reduce la alcalinidad del concreto a aproximadamente un pH de 9, es probable que se presente corrosión en el

acero de refuerzo.

Para que haya corrosión en el acero de refuerzo se requiere de: humedad para la formación de un electrolito, la existencia de una diferencia de potencial eléctrico y la presencia de oxígeno.

## **2.7.2 EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN LOS METALES**

En general, la corrosión de los metales se puede definir como un proceso de reacción entre el metal y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea; y el resultado, es una oxidación destructiva del metal en cuestión.

De acuerdo con el medio ambiente se pueden dar dos tipos de corrosión: la corrosión química y la corrosión electroquímica.

### **2.7.2.1 CORROSIÓN QUÍMICA**

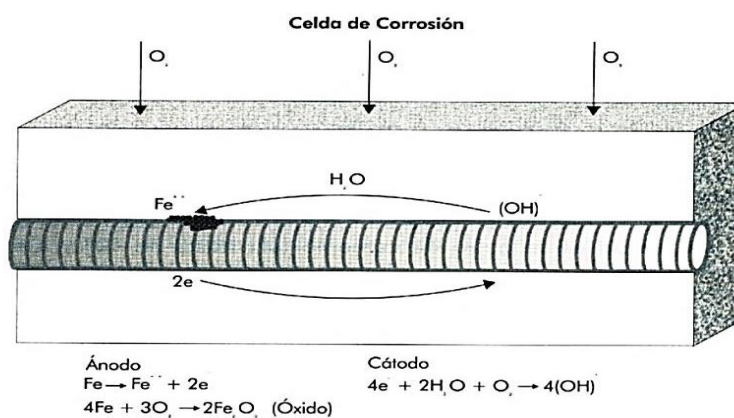
De acuerdo con Castro Borges, la corrosión química ocurre debido al ataque de sistemas no electrolíticos; como por ejemplo, gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente eléctrica.

### **2.7.2.2 CORROSIÓN**

### **2.7.2.3 ELECTROQUÍMICA**

La corrosión electroquímica es una reacción química que ocurre en un medio acuoso y en la que hay transferencia de electrones e iones.

La corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica como la que se aprecia en la (figura 2.44), la cual esta compuesta por los siguientes elementos: a) un ánodo donde ocurre la oxidación; b) un cátodo donde ocurre la reducción; c) un conductor metálico (la varilla), donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso.

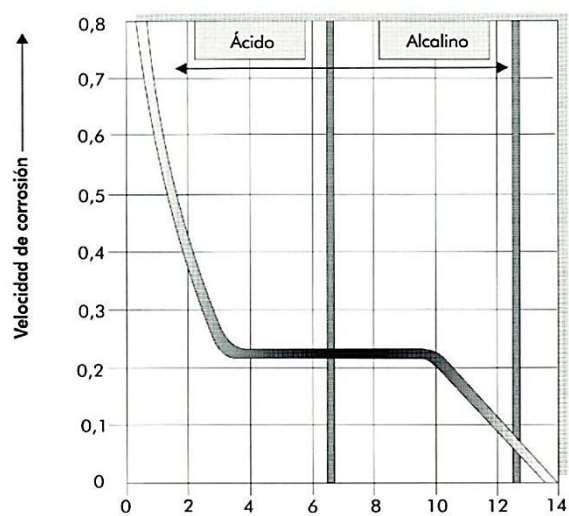


**Figura 2. 43 CELDA ELECTROQUÍMICA DE CORROSIÓN SOBRE UNA VARILLA DE REFUERZO.**

De manera simplificada, el proceso de corrosión puede descomponerse en dos procesos individuales: el proceso anódico y el proceso catódico. El proceso anódico (donde ocurre la oxidación del hierro), es la disolución real de este. La reacción que ocurre es:

### 2.7.3 FACTORES QUE INCIDEN EN LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

- La corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto, ocurre esencialmente por la destrucción de la capa pasivadora que se forma naturalmente sobre el acero embebido dentro del concreto; y esto, tiene dos causas principales:
- La disminución de la alcalinidad del concreto cuando esta reacciona con sustancias ácidas del medio ambiente (ver figura 2.45). Las reacciones que se pueden presentar para disminuir la alcalinidad pueden ser carbonatación por presencia de  $\text{CO}_2$  y/o lixiviación de los álcalis a causa de corrientes de agua.
- La presencia de una cantidad suficiente de cloruros (añadidos durante la propia fabricación del concreto en el agua, los aditivos, los agregados, etc.; o por penetración desde el microclima que rodea la superficie del concreto), u otros iones despasivante en contacto con el acero de refuerzo.



**Figura 2. 44 RELACIÓN APROXIMADA ENTRE EL PH Y LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN**

Pero los factores que mayor incidencia tienen para que se presente el fenómeno de corrosión son los siguientes.

### CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

En la sección anterior se han estudiado los mecanismos de daño más frecuentes que se dan en los edificios de concreto armado; factores que afectan su apariencia, acciones físicas, mecánicas, químicas, biológicas y/o corrosión del acero de refuerzo; y como consecuencia de estas acciones, también se mencionó, que los defectos o daños que pueden exhibir una estructura de concreto.

También pueden obedecer a uno o varios de los siguientes factores o fallas; como por ejemplo concepción y diseño del proyecto, materiales, proceso de construcción, operación (uso, abuso o cambio de uso), y/o mantenimiento.

Para poder identificar y caracterizar los defectos y/o daños (tipo y magnitud); así como delimitar su localización y cantidad en una estructura, debe entonces acudir a la evaluación del concreto, esta etapa constituye el fundamento para acertar en la rehabilitación, un diagnóstico apropiado garantiza el éxito de los procesos de intraversión en la estructura una misma manifestación de daño puede asociarse a razones diferentes debido a la naturaleza de las mismas, la inapropiada interpretación del funcionamiento estructural puede llevar a un equivocado diagnóstico y por lo mismo, a unos inadecuados procesos de intervención, lo mismo sucede si el profesional que diagnostica no está debidamente capacitado.

La observación y el análisis permiten determinar las causas de daños que pocas veces se encuentran de manera evidente y más cuando se trata de una combinación de circunstancias.

De manera sistemática y ordenada, se tiene que desarrollar una serie de pasos secuenciales, para llevar a cabo una investigación que permita elaborar un diagnóstico (con sus causas), de modo que éste a su vez permita emitir un pronóstico del comportamiento de la estructura, bajo las condiciones de servicio esperadas hacia el futuro.

Con base en las recomendaciones. Del ACI 364, se determina que usualmente hay una investigación preliminar y una investigación profunda. La investigación (preliminar y profunda), son trabajos muchas veces complejos, que obligan a la especialización y demandan la necesidad de trabajar con especialistas en diversos campos de la Ingeniería,

El control de calidad y patología del concreto; estructuras; y construcción.

Desde luego, estos trabajos no sólo incluyen elementos técnicos; sino también, aspectos de durabilidad, funcionalidad, estética, seguridad y comportamiento en



servicio.

El nivel de detalle requerido en un informe de esta naturaleza, puede variar desde la simple valoración de la suficiencia estructural y funcional, basada en la inspección visual superficial durante una inspección preliminar, hasta una profunda investigación y procedimiento de evaluación que combine técnicas especiales de inspección.

Por ello es muy importante definir de común acuerdo con el dueño del proyecto, el alcance de los trabajos a realizar (lo cual es recomendable que se materialice por escrito), debido a que se pueden generar las siguientes modalidades de informes:

- Reporte técnico de observaciones
- Reporte técnico detallado (observación, evaluación y diagnóstico.)

En un reporte técnico de observaciones se elabora un documento donde se indican los antecedentes del proyecto, se enumeran las circunstancias observadas en el reconocimiento; procediendo si es necesario a elaborar un plan de trabajo posterior si se necesita una inspección profunda; este plan de trabajo tendrá las recomendaciones de los ensayos, las zonas donde se efectuarán y las recomendaciones inmediatas que se tomarán en la estructura en estudio.

Un reporte técnico detallado (observación, evaluación y diagnóstico) es un documento que se elabora con el objeto de emitir un dictamen y se basa en una inspección (que puede estar acompañada de mediciones, auscultación y/o exploración); unos ensayos y análisis de los mismos; y una evaluación estructural (según necesidades).

### **3.2 INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO**

De acuerdo con ACI 364, la investigación preliminar busca acopiar información inicial acerca de las condiciones de una estructura, el tipo y seriedad de los problemas que la afectan, la factibilidad de llevar a cabo una rehabilitación prevista, y la información necesaria para una posible investigación detallada.

La investigación preliminar, usualmente es una introducción a la situación que está experimentando la estructura y por lo común conducen a una de dos situaciones:

- El establecimiento de la necesidad de adelantar estudios adicionales más profundos, detallados y extensos, para poder diagnosticar con certeza los daños y el comportamiento.
- Dictaminar la inconveniencia de realizar estudios adicionales, por cuanto el daño es tal que no justifica una restauración económicamente razonable.

### 3.2.1 ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA PARA UNA INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO

En primera instancia, debe obtenerse toda la información general que sea posible, acerca del proyecto, en general, es recomendable que un estudio preliminar comprenda los siguientes aspectos:

#### 1) **Revisión del proyecto original.**

La revisión del proyecto original, se lleva a cabo con el objeto de familiarizarnos con los planos y las especificaciones de la estructura. Para la revisión del proyecto original, se hace necesario disponer de los siguientes documentos:

##### ➤ **Estudios de suelos:**

El objetivo es verificar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes estratos que componen el subsuelo, la capacidad de carga, estratigrafía, las recomendaciones que se hicieron sobre las cimentaciones utilizadas en el proyecto

##### ➤ **Memorias de cálculo de la estructura.**

El objetivo es la revisión de el diseño estructural, consideraciones que se tomaron en cuenta para determinar cargas muertas , cargas vivas, cargas sísmicas, presiones de suelo, combinación de cargas, tanto los datos crudos (memoria de diseño) como los datos con los que se utilizaron para en el programa o programas en computadora

##### ➤ **Planos estructurales**

El objetivo les comprobar que las dimensiones resultantes del diseño estructural se haya transmitido a los planos.

##### ➤ **Especificaciones de materiales.**

El objetivo es comprobar que los materiales que se utilizaron en la ejecución del proyecto, cumplieran con las normas de control de calidad necesario requeridas por el diseñador.

##### ➤ **Planos arquitectónicos**

El objetivo es comprobar si las dimensiones propuestas originalmente en el diseño del edificio

##### ➤ **Planos de instalaciones**

El objetivo es comprobar la ubicación de las instalación (eléctricas, hidráulicas, etc.).

##### ➤ **Bitácora de obra.**

El objetivo es verificar si durante el proceso constructivo, hubo alguna alteración en el diseño original, si se presento algún

inconveniente a la hora de la construcción, algún evento fortuito que haya podido ocurrir.

Cuando no se dispone de ellos, se hace necesario recurrir a ensayos no destructivos, a mediciones físicas de la geometría de los elementos, a localizaciones del acero de refuerzo (mediante exploración por remoción de recubrimientos o uso de localizadores de barras).

En esta fase del estudio, también es indispensable establecer bajo que versión de la normativa se hicieron los diseños y las especificaciones, para hacer las comparaciones del caso con la versión vigente.

Si existen diferencias entre lo que está en los planos y especificaciones con lo que está construido, o se evidencian alteraciones en la estructura en servicio, estas situaciones deben registrarse cuidadosamente.

## 2) Información general

Otro aspecto importante, a documentar son las condiciones de exposición de la estructura y la influencia del medio ambiente sobre la misma. Por lo tanto, es muy conveniente obtener la siguiente información:

### ➤ **Nombre.**

Nombre del Proyecto

### ➤ **Localización zona geográfica**

El objetivo es determinar en qué zona geográfica se encuentra (urbana, rural, industrial para ir visualizando que tipo de medio ambiente rodea la edificación, para prever qué tipo de daños en esas circunstancias se presentan.

### ➤ **Tipos de estructura (tipo de cimentación, sistema estructura).**

El objetivo es la descripción estructural que forma

### ➤ **Propietarios y usos (cronológicamente).**

El objetivo es determinar el uso que le ha dado a la infraestructura, para determinar a qué tipo de exposición ha estado sujeto y analizar si no se ha sobrepasado las consideraciones para la cual fue diseñada.

### ➤ **Historial de la estructura**

Fechas de diseño, construcción y puesta en servicio, vida útil proyectada, área construida, etc.

Adicionalmente, deben adelantarse entrevistas con personas que

hayan conocido la estructura a través del tiempo, para conocer la naturaleza y el tipo de acciones que han actuado (cronológica de daños y mantenimiento) y actuarán (condiciones de servicio), en el futuro.

➤ **Influencia del medio ambiente en la zona del proyecto:**

• **Humedad relativa:**

(Rangos de ocurrencia, frecuencia y duración).

• **Temperatura :**

Temperaturas máximas, temperaturas mínimas.

• **Presión :**

Precipitación promedio anual de lluvias, velocidad máxima de vientos.

➤ **Verificación a la exposición de sustancias agresivas :**

• **Forma:**

Líquida, sólida, gaseosa.

• **Frecuencia y duración de la exposición.**

Condiciones de exposición particulares o especiales.

### **3.2.2 SELECCIÓN DE RECURSO PARA LA INSPECCIÓN PRELIMINAR DE CONCRETO ARMADO.**

En la medida en que se vaya cumpliendo la fase de antecedentes, debe identificarse el personal que debe intervenir en la inspección; así como, seleccionar los elementos y equipos más apropiados para adelantar la inspección. Entre los equipos más útiles se cuentan los siguientes:

- Cámaras fotográficas
- Nivel de mano.
- Cinta métrica
- Escalera, andamio, etc.
- Linterna
- Elaboración de una Ficha de Inspección Visual General de la Estructura.
- Elaboración de cuadros Estadísticos de cada Zona inspeccionada.
- Elaboración de cuadros comparativos de las zonas inspeccionadas.

### **3.2.3 INSPECCIÓN VISUAL DE EL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO**

Es recomendable que la inspección visual de la estructura se lleve a cabo una vez se hayan cumplido las fases de antecedentes y revisión del proyecto

original, pues la visita de inspección a la estructura debe basarse en la información recogida.

Como el objetivo principal de la investigación preliminar es determinar la naturaleza y extensión de los problemas observados, e identificar los miembros afectados, es indispensable adelantar un recorrido de la estructura para hacer un registro lo más completo posible de los daños. En este recorrido, se pueden identificar y registrar daños los cuales fueron discutidos ampliamente en el capítulo anterior, sin embargo en el presente ítem, proporcionando un breve comentario con las características principales con el objetivo de relacionarnos con la guía de levantamiento de daños, como son los siguientes:

➤ **Contaminación por Polución:**

Contaminación intensa y dañina del aire, constituida por residuos de procesos industriales o biológicos, en forma de partículas transportadas por el viento en las superficies del concreto, estas partículas se subdividen en polvo fino (0,01 hasta 1 micra) y polvo grueso (partículas desde 1 micra hasta 1 mm)

➤ **Cultivos Biológico:**

Proliferación de microorganismos en la superficie del concreto (sobre todo si esta tiene textura rugosa) se afecta al concreto no solo por las manchas y cambios de color, sino porque mantiene húmedo el concreto lo cual promueve mecanismos

➤ **Meteorización:**

Alteración física, mecánica o química sufrida por el concreto, bajo la acción de la intemperie (sol, viento, lluvia u otros). Este fenómeno, desde luego está muy influenciado por cambios en la temperatura, la humedad y la presión del medio ambiente, especialmente por la polución del mismo medio ambiente que es un factor del continuo crecimiento en los centros urbanos.

➤ **Eflorescencias:**

Depósito de sales usualmente blancas que se forman algunas veces en la superficie del concreto, están compuestos de sales de calcio (principalmente carbonatos y sulfatos) o de metales alcalinos (sodio y potasio) o una combinación de ambos.

➤ **Decoloración y manchado:**

Acción y efecto de quitar o amortiguar el color de una superficie de concreto, como consecuencia de la meteorización, la presencia de eflorescencias, los ciclos de asoleamiento, el ciclo de humedecimiento y

secado, la acumulación de polvo, el lavado por la lluvia.

➤ **Humedad**

Presencia permanente de agua en la superficie o dentro del concreto, produciendo un ambiente propicio para que haya proliferación de microorganismos y organismos de origen vegetal o animal los cuales podría atacar al concreto por acciones físicas o químicas.

➤ **Fisuras :**

Es la separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas, su identificación será según su ancho, su largo, su profundidad, podría ser longitudinal, transversal, aleatoria.

TIPO	DIMENSIONES
FINA	0.00 mm a 1.00 mm
MEDIANA	1.00 mm a 2.00 mm
ANCHA	2.00 mm a 3.00 mm

**Tabla 3. 1 DIMENSIÓN DE LAS FISURAS.**

**FUENTE: PATOLOGÍA DEL CONCRETO**

➤ **Grietas :**

Es la separación incompleta entre dos o más parte con un espacio mayor a 3 mm, esta separación es la consecuencia de esfuerzos que actúan en la sección neta resistente de los elementos estructurales, por la aplicación de cargas directas, sobre pasando los estados limites últimos.

➤ **Deflexiones**

Es resultado de la deformación (flecha) causada por los esfuerzos de flexión debida a las cargas impuestas.

➤ **Desplomes:**

Pérdida del alineamiento vertical de elementos estructurales, 0.002 veces su altura cuyo rango no sobrepase 7mm o 0.002.

➤ **Fracturas y aplastamiento:**

Rotura del concreto debido acciones que lo afectan.

➤ **Distorsión:**

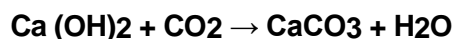
Cualquier deformación anormal de su forma original.

➤ **Desgaste:**

Es el desgaste de la superficie de pisos concreto debido a la acción sobre ellos.

➤ **Carbonatación:**

Reacción del dióxido de carbono atmosférico con el hidróxido de calcio (cal) que ha liberado el clinker del cemento en su proceso de hidratación.



➤ **Evidencias de ataques químicos:**

Presencia de un agente externo por periodo de tiempo prolongado que sea perjudicial al concreto.

➤ **Descascaramiento:**

Desprendimiento superficial de forma laminar del concreto.

➤ **Ablandamiento de Masa**

Perdida de rigidez de la estructura de concreto.

➤ **Perdida de Resistencia**

Perdida de resistencia a los esfuerzos que está sometida la estructura (flexión, compresión, etc.)

➤ **Despasivación de Acero:**

El recubrimiento del concreto que se hace sobre el acero de refuerzo de una estructura de concreto es conocida como la capa protectora o pasivadora que protege el acero de la acción agresiva de ciertas sustancias o elementos que puede ocasionar deterioro o corrosión del acero de refuerzo. Cuando esta capa pasivadora que debe de ser densa, compacta y de espesor suficiente, pierde su capacidad de protección se dice que se ha despasivado.

➤ **Hinchamiento:**

Expansión de la masa del concreto.

➤ **Corrosión de Acero de refuerzo**

Proceso de reacción entre el acero de refuerzo y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea y el resultado es una oxidación destructiva del metal en cuestión.

➤ **Corrosión de otros materiales**

Proceso de reacción entre el metal y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea y el resultado es una oxidación destructiva del metal en cuestión.

➤ **Goteras:**

Humedad causada por las aguas lluvias bajo la cubierta. Para ello, debe hacerse un levantamiento de los daños (tipo y magnitud) y su

localización en un plano o mapa de daños.

Este levantamiento, debe ser complementado con un completo registro fotográfico. En adición a la inspección visual, las investigaciones de campo deben incluir mediciones de los miembros, longitud de luces y desniveles encontrados en la estructura motivo de la investigación de las estructuras y localizer de manera precisa los daños.

### 3.3 REPORTE TÉCNICO DE OBSERVACIONES

#### 3.3.1 GENERALIDADÉS.

Con base en la información recogida, en la revisión de la capacidad estructural, en las observaciones adelantadas (inspección visual, mediciones, auscultamiento) se elabora un informe cuya estructura básica puede ser la siguiente:

- Elaboración de una ficha de inspección visual general de la estructura.
- Elaboración de cuadros estadísticos de cada zona inspeccionada.
- Elaboración de cuadros comparativos de las zonas inspeccionadas.
- Análisis de antecedentes (comparación diseñado vs construido).
- Reporte fotográfico y gráfico de daños.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

De acuerdo con el ACI 364, Este documento debe ser concluyente en los siguientes aspectos:

- **Capacidad estructural.** Es decir, si los miembros o la estructura son adecuados para el uso previsto; si son adecuados para las cargas actuales, pero no para el fin previsto; o si el análisis realizado no es concluyente.
- **Si hay o no factibilidad de una posible rehabilitación,** mediante una valoración técnica y económica, que se fundamenta en la efectividad esperada de la rehabilitación y su nuevo ciclo de vida útil esperado.  
Si se detectan problemas estructurales, estos se deben describir en términos de su seriedad, extensión y riesgo para estabilidad. Lo anterior, permitirá establecer si se requieren o no acciones correctivas para remediar las condiciones existentes o simplemente proteger la estructura.
- Cuando se requiera un reforzamiento de la estructura, se deben de



estudiar alternativas que puedan satisfacer los requerimientos de carga hacia el futuro y el cumplimiento de la normativa vigente; de ser posible, se debe contemplar el costo efectivo de reparar, reemplazar o reforzar los miembros estructurales existentes.

### 3.4 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Coordinación con los dirigentes de cada zona para facilitar el acceso a las obras.
- Contacto con los propietarios para realizar la Inspección visual general de la estructura
- Aplicación de las fichas de Inspección visual, acompañado del registro fotográfico de daños.

### 3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño seleccionado a emplearse en el presente estudio, es el diseño descriptivo comparativo de 2 muestras, el cual responde al siguiente esquema:



Donde:

M1, M2, representan a cada una de las muestras:

- **M1** = muestra de las obras de concreto armado recolectada en el localización de la zona de estudio II – Urb. villa fatima (zona I).
- **M2** = muestra de las obras de concreto armado recolectada localización de la zona de estudio II – Urb. juana maria (zona II).

O1, O2, es la información u observaciones recolectada en cada una de dichas muestras. De O1 a O2 en la parte lateral del diagrama, nos indica las comparaciones que se llevan a cabo entre cada una de las muestras, pudiendo estas observaciones, resultados, información ser: iguales (=), diferentes o semejantes.

### 3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

**Población:** Conformada por todas las obras de concreto armado en las 2 zonas de

estudio: Urb. Villa Fatima, y urb. Juana Maria.

**Muestra:** La muestra se seleccionará al azar, consistiendo en 15 obras de concreto armado de cada zona de estudio, obteniéndose un total de 30 obras estudiadas.

### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para el procesamiento de la información utilizaremos aspectos de la estadística descriptiva mediante la técnica de datos agrupados y no agrupados, y se presentarán organizados en cuadro con respectivo gráfico de barras para su mejor ilustración.

### 3.8 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE EVALUACIÓN

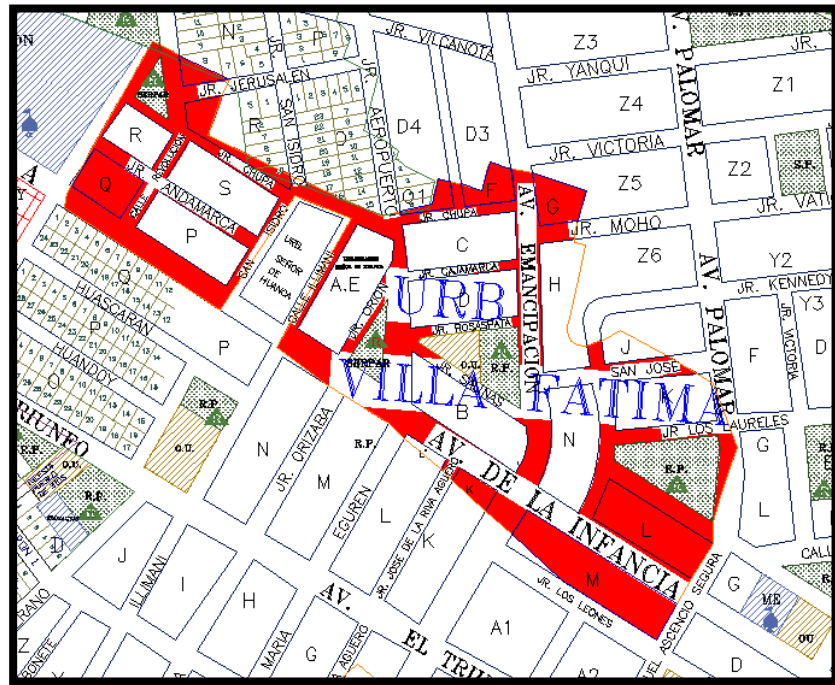


Figura 3.1 Localización de la zona de estudio I – Urb. Villa Fatima

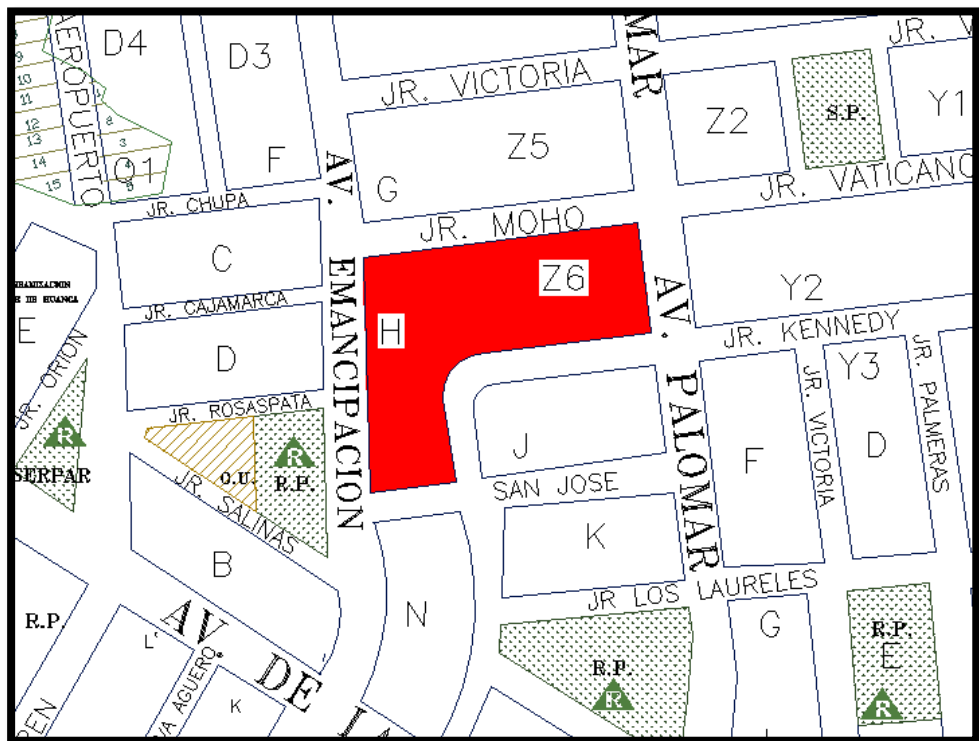


Figura 3.2 Localización de edificación de estudio I – Urb. Villa Fatima

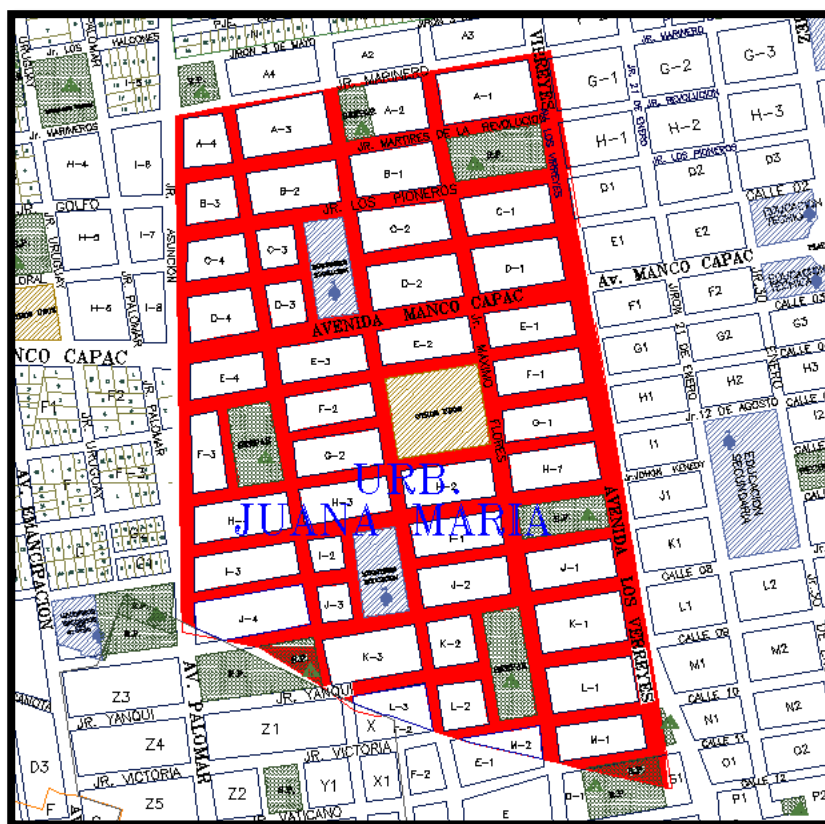


Figura 3.3 Localización de la zona de estudio II – Urb. Juana Maria

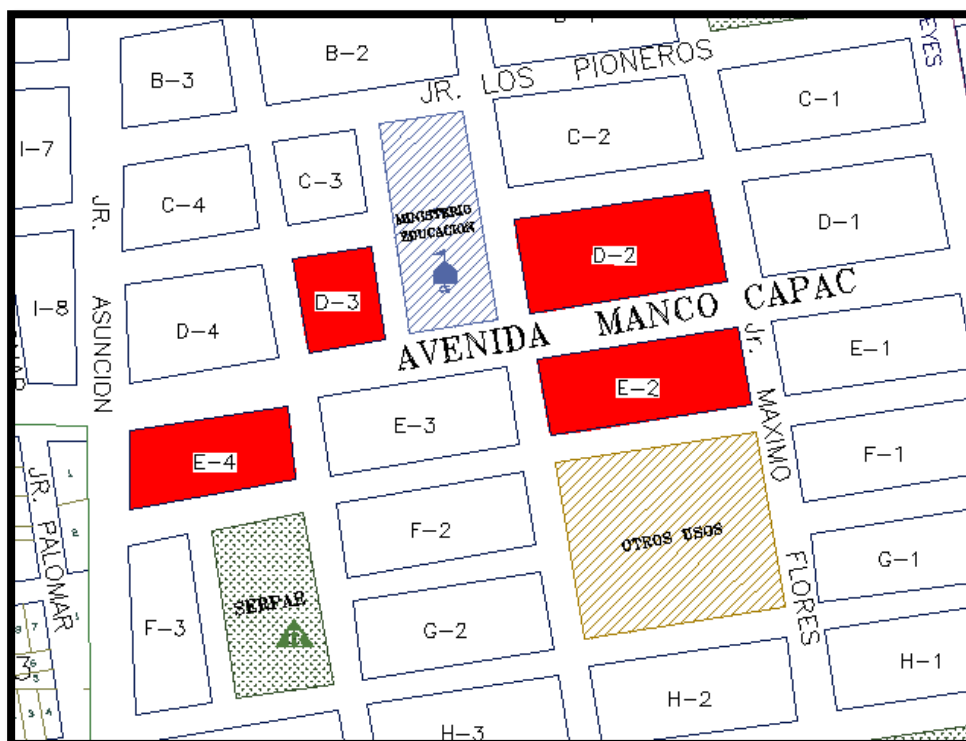


Figura 3.4 Localización la edificación de estudio II – Urb. Juana Maria

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS OBTENIDOS**

#### **4.1 EXPLICACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL**

Se aplicó la ficha de inspección visual general de la estructura, teniendo en cuenta el nombre del propietario para realizar la inspección, además se tomó en cuenta la edad de la estructura, realizando a la vez un levantamiento de daños, localizándose en los diferentes elementos estructurales mediante croquis, a la vez se realizó un registro fotográfico que acompaña a dichos formatos.

Las muestras fueron seleccionadas al azar, empezando por la zona I: (Urb. Villa Fatima), continuando con la zona II: (Urb. Juana Maria) ; escogiendo una muestra de 15 obras hechas de concreto armado en cada zona, obteniéndose una muestra de 30 estructuras.

#### **4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CUADROS**

A continuación se presentan los resultados de las fichas de inspección visual y consolidada a nivel de daños.

## DATOS DE URB.VILLA FATIMA

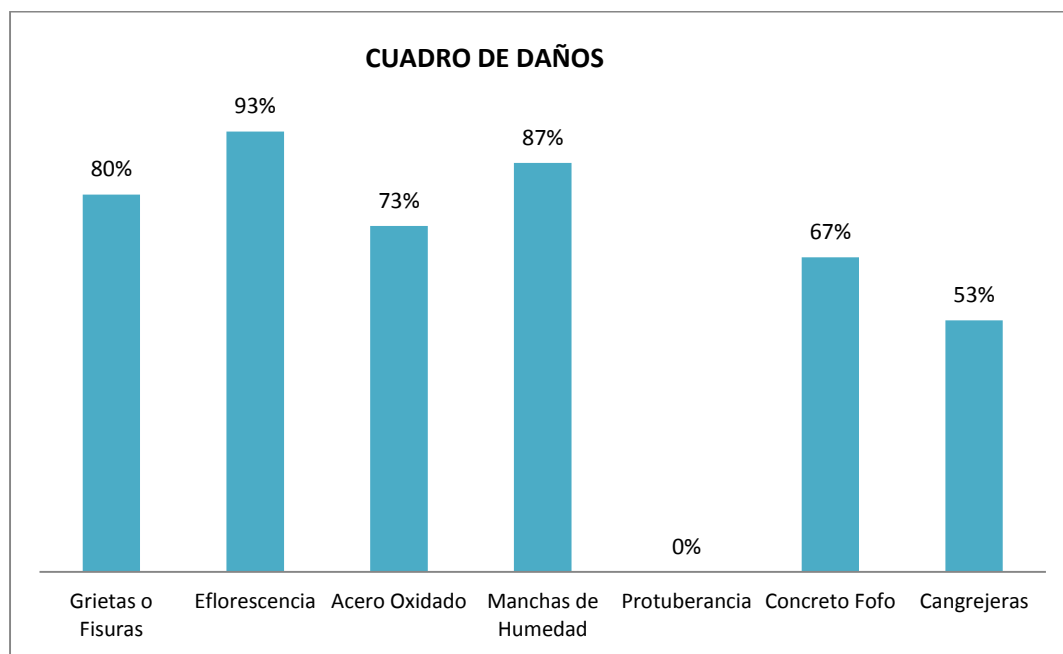
<b>RESUMEN DE INSPECCIÓN VISUAL</b>			
<b>ZONA: URB.VILLA FATIMA</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>TIPO</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>EDAD</b>
V-1	VIVIENDA	Jr.San Jose L.H.-24	32
V-2	VIVIENDA	Jr.San Jose L.H.-23	26
V-3	VIVIENDA	Jr.San Jose L.H.-22	31
V-4	VIVIENDA	Jr.San Jose L.H.-21	15
V-5	VIVIENDA	Jr.San Jose L.H.-20	18
V-6	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-18	25
V-7	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-17	31
V-8	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-16	27
V-9	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-15	25
V-10	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-14	24
V-11	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-13	15
V-12	VIVIENDA	Av. Emancipacion L.H.-12	21
V-13	VIVIENDA	Jr. Moho L.H.-11	17
V-14	VIVIENDA	Jr. Moho L.H.-10	27
V-15	VIVIENDA	Jr. Moho L.H.-09	30

Tabla 4. 1 DATOS DE URB VILLA FATIMA.

## CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA

URB.VILLA FATIMA DATOS DE DAÑO			
CUADRO DE DAÑOS			
CODIGO	DAÑO	N. DE VIVIENDAS	%
A	Grietas o Fisuras	12	80%
B	Eflorescencia	14	93%
C	Acero Oxidado	11	73%
D	Manchas de Humedad	13	87%
E	Protuberancia	0	0%
F	Concreto Foyo	10	67%
G	Cangrejas	8	53%
	TOTAL	15	

## CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA

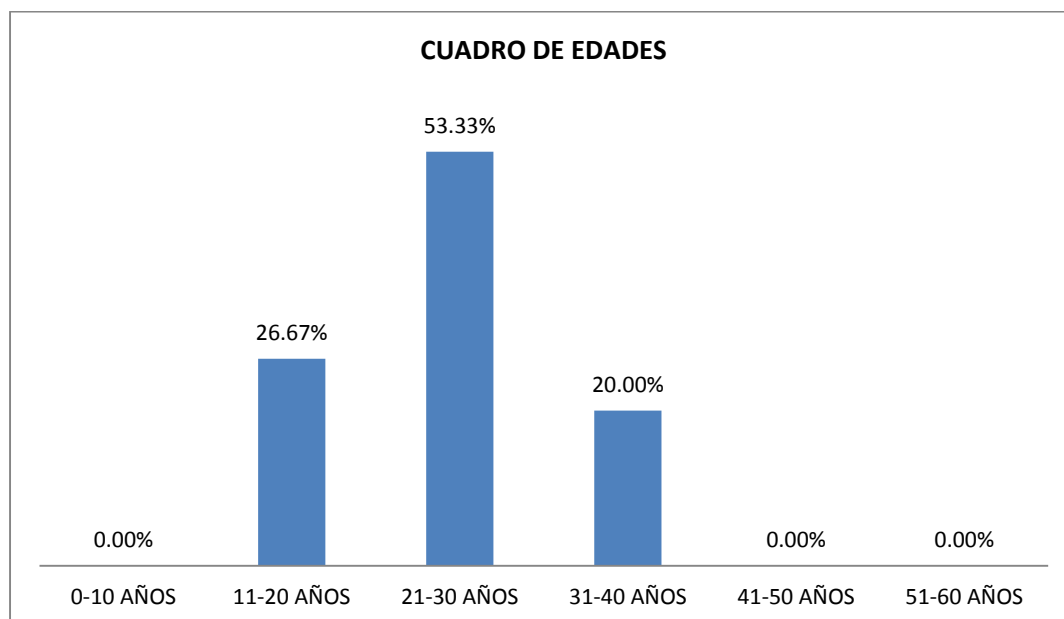


**Tabla 4. 2 CUADRO DE DAÑOS.**

## CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA

CUADRO DE EDADES		
EDAD (años)	VIVIENDAS	%
0-10 AÑOS	0	0.00%
11-20 AÑOS	4	26.67%
21-30 AÑOS	8	53.33%
31-40 AÑOS	3	20.00%
41-50 AÑOS	0	0.00%
51-60 AÑOS	0	0.00%
TOTAL	15	

## CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA



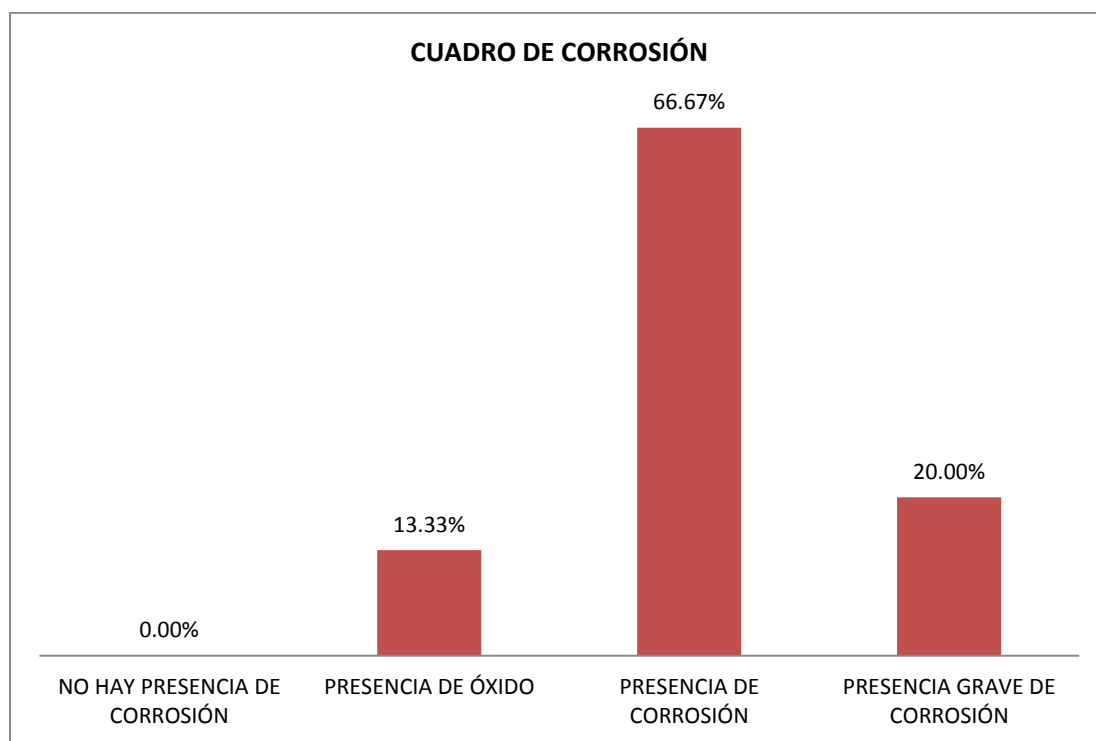
**Tabla 4. 3 CUADRO DE EDADES.**



## CUADRO DE DAÑOS DE CORROSIÓN DE VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA

CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO		
ELEMENTOS	VIVIENDAS	%
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	0	0.00%
PRESENCIA DE ÓXIDO	2	13.33%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	10	66.67%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	3	20.00%
TOTAL	15	

## TABLA RESUMEN DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO EN LAS VIVIENDAS

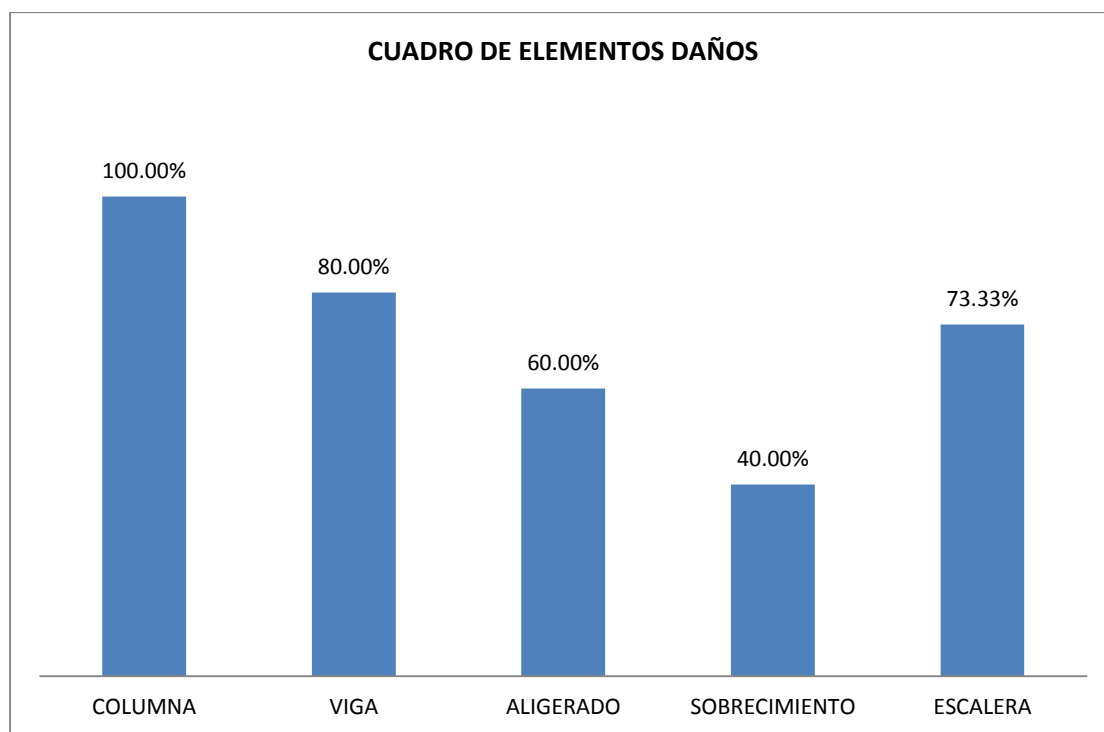


**Tabla 4. 4 CUADRO DE CORROSIÓN.**

## CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA

CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS		
ELEMENTOS	VIVIENDAS	%
COLUMNA	15	100.00%
VIGA	12	80.00%
ALIGERADO	9	60.00%
SOBRECIMIENTO	6	40.00%
ESCALERA	11	73.33%
TOTAL	15	

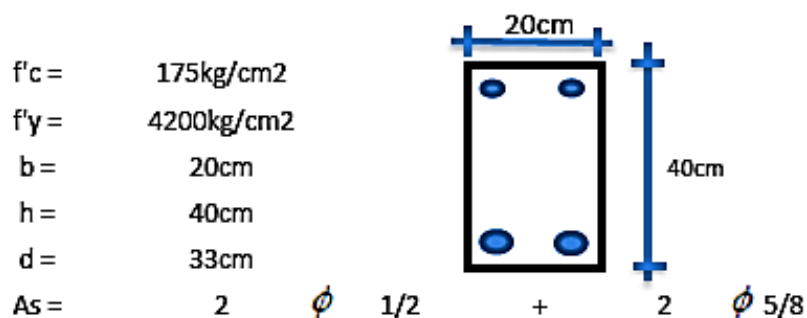
## CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS DEL URB.VILLA FATIMA



**Tabla 4.5 CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS.**

## ANALISIS DE MOMENTOS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

DATOS DE VIVIENDA URB, VILLA FATIMA Jr.San Jose L.H.-24



area de acero

$$2 \phi 1/2 = 2.58$$

$$2 \phi 3/8 = 1.42$$

$$As = 4.0 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{As}{b \cdot d} = \frac{4.0 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm} \cdot 33 \text{ cm}} = 0.00606$$

$$B1 = 0.9$$

$$Pb = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{F'c}{F'y} \cdot \left( \frac{6000}{6000 + F'y} \right) = 0.85 \cdot 0.90 \cdot \frac{175}{4200} \cdot \left( \frac{6000}{6000 + 4200} \right)$$

$$Pb = 0.01875$$

$$P_{\max} = 0.75 \cdot Pb = 0.75 \cdot 0.0225 = 0.0141$$

$$P \leq P_{\max} \leq Pb$$

$$0.00606 < 0.0140625 < 0.01875$$

$$0.59 \cdot W^2 - W + \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d} = 0$$

$$W = \frac{P \cdot F'y}{F'c}$$

$$W = \frac{0.00606 \cdot 4200}{175}$$

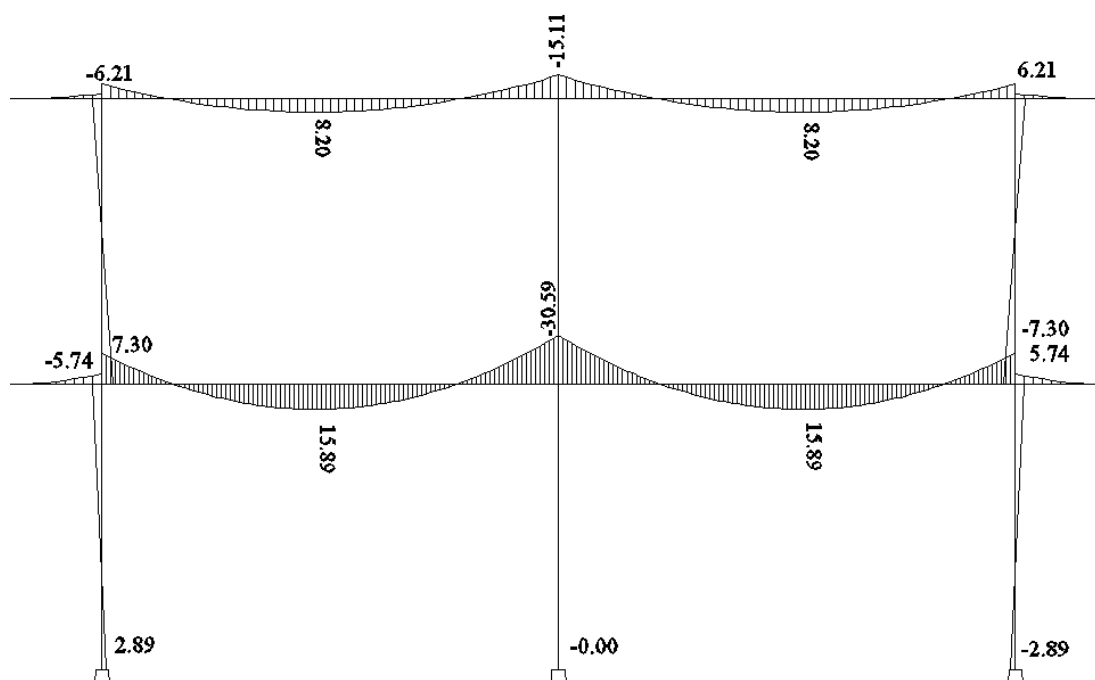
$$W = 0.14545$$

$$MuR = \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f'c \cdot (0.59 \cdot W^2 - W +)$$

$$MuR = 0.90 \cdot 20 \cdot 33^2 \cdot 175 \cdot (0.14545^2 \cdot 0.59 - 0.14545)$$

$$MuR = 4.56 \text{ Tn/m}$$

ANALISIS DE MOMENTOS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA  
(Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014)



CUADRO DE COMPARATIVO DE RESULTADOS DE VIVIENDAS DE VILLA FATIMA  
Jr.San Jose L.H.-24

MOMENTOS	CARGAS	CARACTERISTICAS
Mu	15.89 Tn/m	CARGA DISEÑO
MuR	4.56 Tn/m	CARGA REAL

Tabla 4. 6 CUADRO DE COMPARACION DE LOS MOMENTOS

## DATOS DE URB. JUANA MARIA

<b>RESUMEN DE INSPECCION VISUAL</b>			
<b>ZONA: URB. JUANA MARIA</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>TIPO</b>	<b>UBICACION</b>	<b>EDAD</b>
V-1	VIVIENDA	Jr. 8 de Setiembre L.E2-4	12
V-2	VIVIENDA	Jr. 8 de Setiembre L.E2-5	17
V-3	VIVIENDA	Jr. 8 de Setiembre L.E2-6	18
V-4	VIVIENDA	Jr. 8 de Setiembre L.E2-10	14
V-5	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E2-12	20
V-6	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E2-15	13
V-7	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E2-17	16
V-8	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.D2-8	13
V-9	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.D3-3	25
V-10	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.D3-5	12
V-11	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E4-15	20
V-12	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E4-16	23
V-13	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E4-08	18
V-14	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E4-06	17
V-15	VIVIENDA	Av. Manco Capac L.E4-05	28

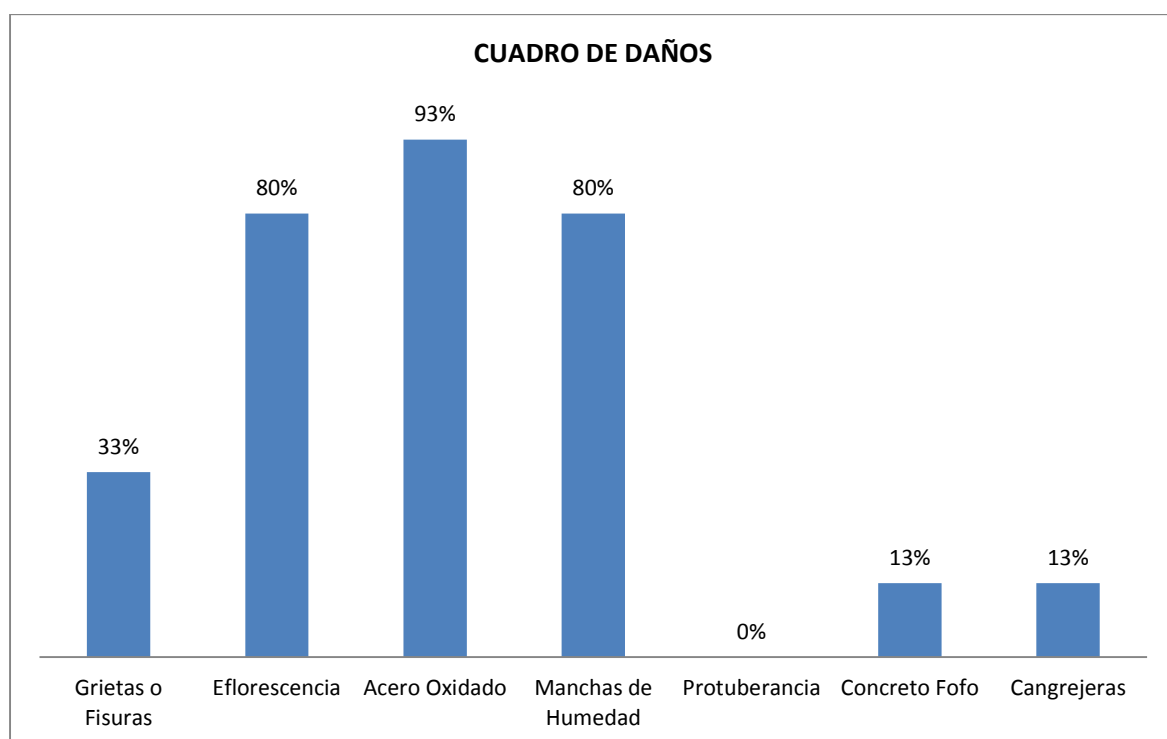
Tabla 4. 7

DATOS DE URB. JUANA MARIA.

## CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL URB. JUANA MARIA

URB. JUANA MARIA DATOS DE DAÑO			
CUADRO DE DAÑOS			
CODIGO	DAÑO	N. DE VIVIENDAS	%
A	Grietas o Fisuras	5	33%
B	Eflorescencia	12	80%
C	Acero Oxidado	14	93%
D	Manchas de Humedad	12	80%
E	Protuberancia	0	0%
F	Concreto Foyo	2	13%
G	Cangrejas	2	13%
	TOTAL	15	

## CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL URB. JUANA MARIA

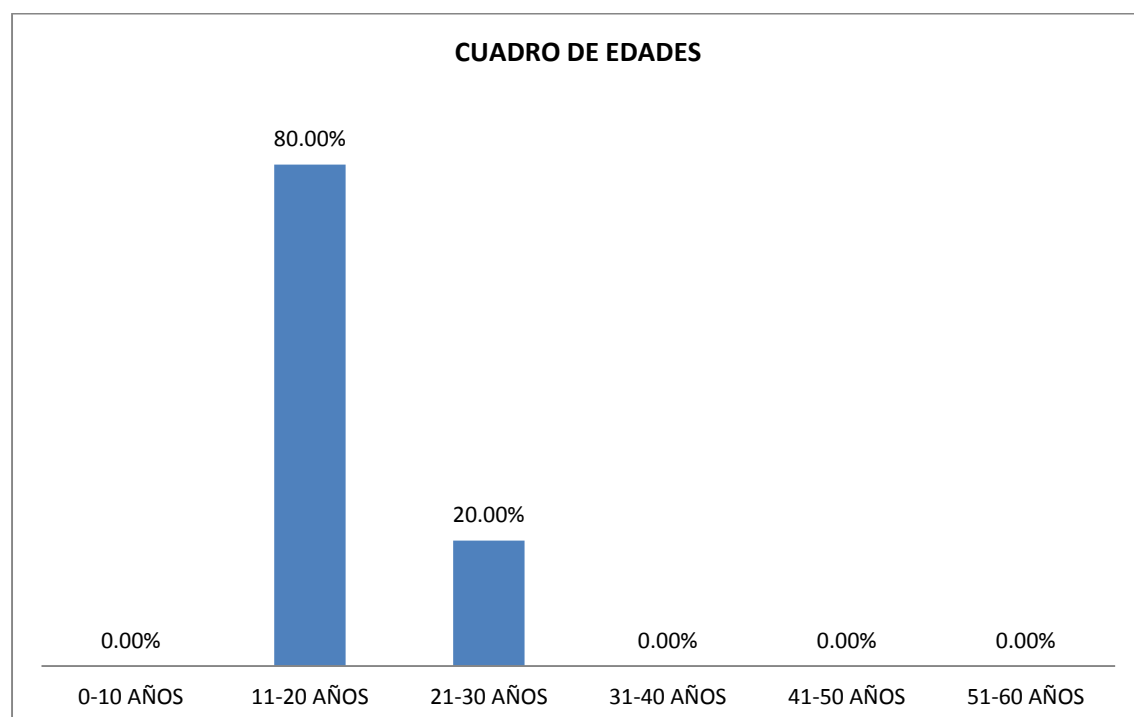


**Tabla 4. 8 CUADRO DE DAÑOS.**

## CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DEL URB. JUANA MARIA

CUADRO DE EDADES		
EDAD (años)	VIVIENDAS	%
0-10 AÑOS	0	0.00%
11-20 AÑOS	12	80.00%
21-30 AÑOS	3	20.00%
31-40 AÑOS	0	0.00%
41-50 AÑOS	0	0.00%
51-60 AÑOS	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	

## TABLA RESUMEN DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS

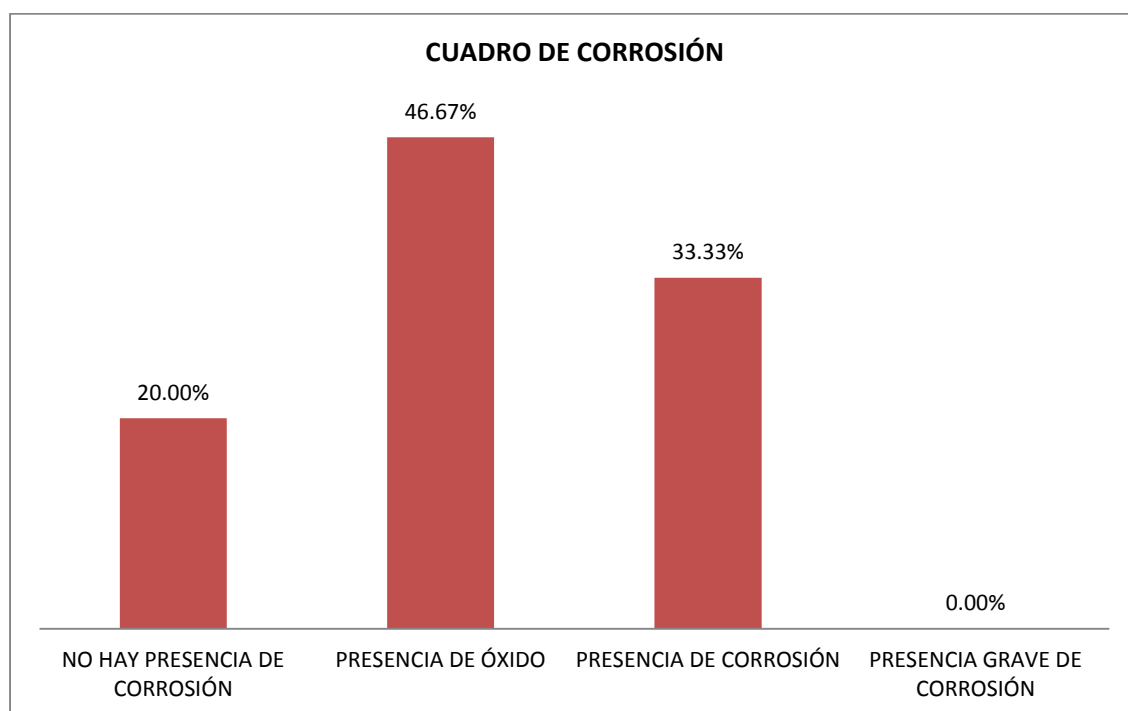


**Tabla 4. 9 CUADRO DE EDADES.**

## CUADRO DE CORROSIÓN DE LAS VIVIENDAS DEL URB. JUANA MARIA

CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO		
CORROSIÓN	VIVIENDAS	%
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	3	20.00%
PRESENCIA DE ÓXIDO	7	46.67%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	5	33.33%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	0	0.00%
TOTAL	15	

## TABLA RESUMEN DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO EN LAS VIVIENDAS



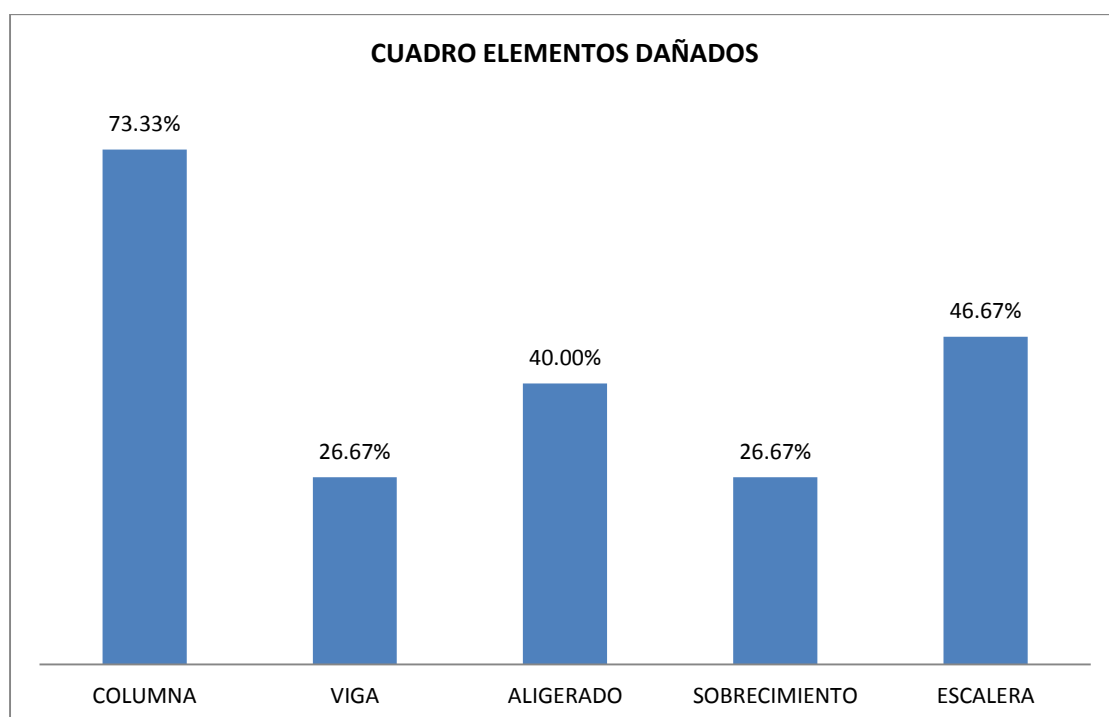
**Tabla 4. 10 CUADRO DE CORROSIÓN.**



## CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS DEL URB. JUANA MARIA

CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS		
ELEMENTOS	VIVIENDAS	%
COLUMNA	11	73.33%
VIGA	4	26.67%
ALIGERADO	6	40.00%
SOBRECIMIENTO	4	26.67%
ESCALERA	7	46.67%
TOTAL	15	

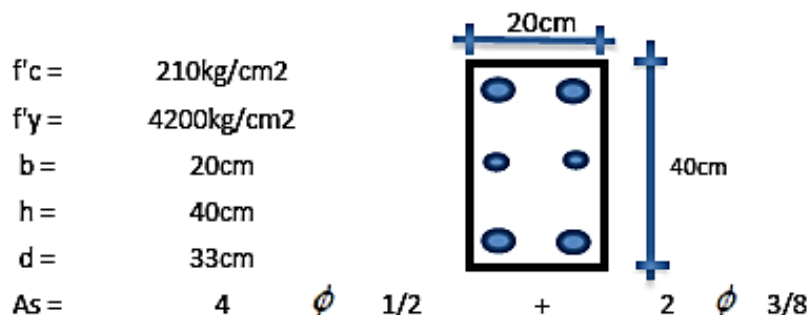
## TABLA RESUMEN DEL CUADRO ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS



**Tabla 4. 11 CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS.**

## ANALISIS DE MOMENTOS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

DATOS DE VIVIENDA URB, JUANA MARIA Av. Manco Capac L.E2-12



area de acero

$$4 \phi 1/2 = 5.16$$

$$2 \phi 3/8 = 1.42$$

$$A_s = 6.6 \text{ cm}^2$$

$$P = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{6.6 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm} \cdot 33 \text{ cm}} = 0.00997$$

$$\beta_1 = 0.9$$

$$P_b = 0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{F'_c}{F'y} \cdot \left( \frac{6000}{6000 + F'y} \right) =$$

$$P_b = 0.85 \cdot 0.90 \cdot \frac{210}{4200} \cdot \left( \frac{6000}{6000 + 4200} \right)$$

$$P_b = 0.0225$$

$$P_{\max} = 0.75 \cdot P_b = 0.75 \cdot 0.0225 = 0.0169$$

$$P \leq P_{\max} \leq P_b$$

$$0.00997 < 0.016875 < 0.0225$$

$$0.59 \cdot W^2 - W + \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d} = 0$$

$$W = \frac{P \cdot F'y}{F'_c}$$

$$w = \frac{0.00997 \cdot 4200}{210}$$

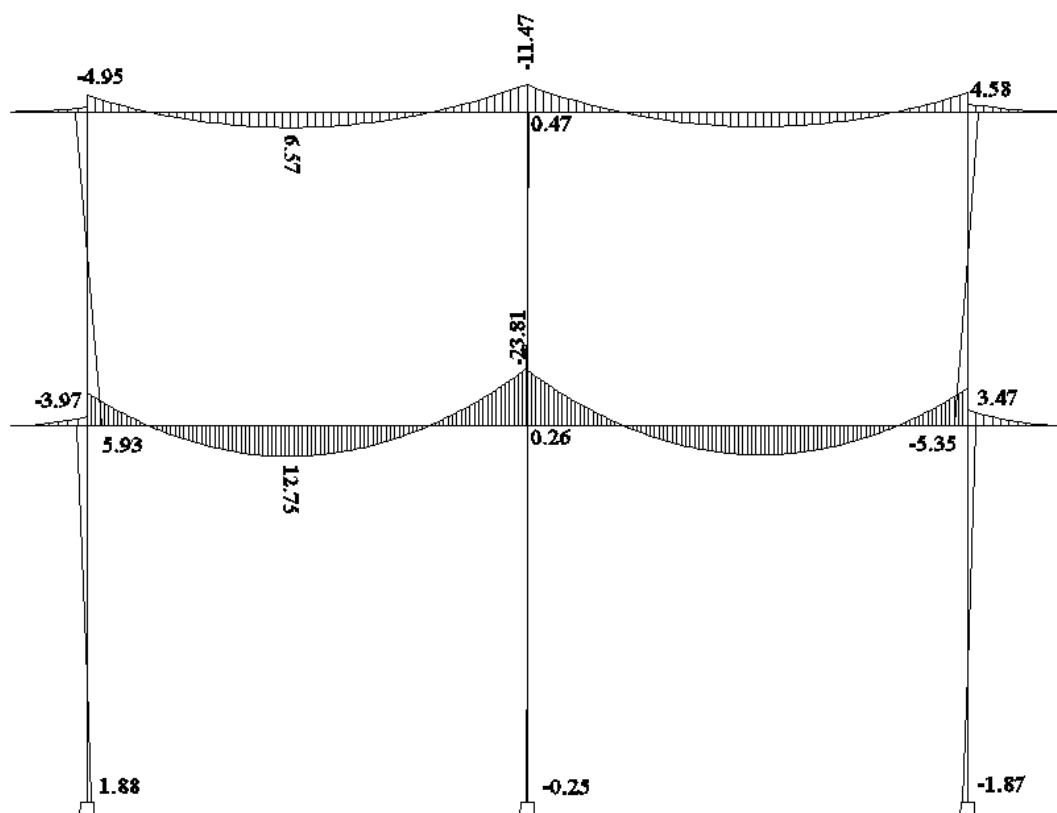
$$w = 0.19939$$

$$MuR = \phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f'_c \cdot (0.59 \cdot W^2 - W +)$$

$$MuR = 0.90 \cdot 20 \cdot 33^2 \cdot 210 \cdot (0.14545^2 \cdot 0.59 - 0.14545)$$

$$MuR = 7.24 \text{ Tn/m}$$

ANALISIS DE MOMENTOS DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA  
(Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014)



CUADRO DE COMPARATIVO DE RESULTADOS DE VIVIENDAS DE URB. JUANA MARIA  
Av. Manco Capac L.E2-12

MOMENTOS	CARGAS	CARACTERISTICAS
Mu	12.75 Tn/m	CARGA DISEÑO
MuR	7.24 Tn/m	CARGA REAL

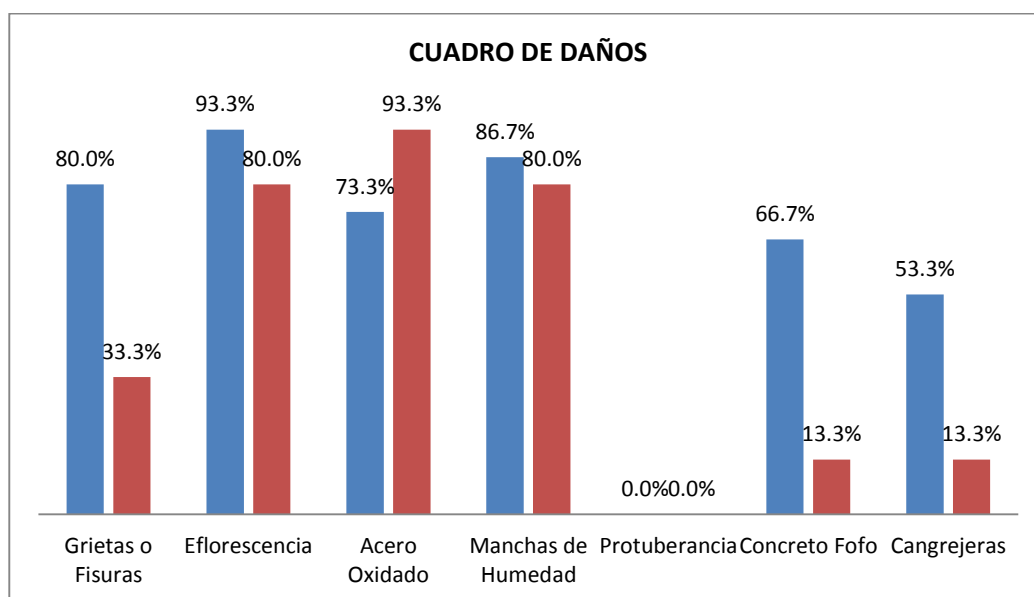
Tabla 4. 12 CUADRO DE COMPARACIONES DE LOS MOMENTOS

## DATOS COMPARATIVOS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

## COMPARATIVO DEL CUADRO DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS DE LAS 2 ZONAS

COMPARATIVO DE RESULTADOS			
CODIGO	DAÑO	ZONA: URB.VILLA FATIMA	ZONA: URB.JUAN A MARIA
A	Grietas o Fisuras	80.0%	33.3%
B	Eflorescencia	93.3%	80.0%
C	Acero Oxidado	73.3%	93.3%
D	Manchas de Humedad	86.7%	80.0%
E	Protuberancia	0.0%	0.0%
F	Concreto Foyo	66.7%	13.3%
G	Cangrejas	53.3%	13.3%

## COMPARATIVO DEL CUADRO DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS DE LAS 2 ZONAS

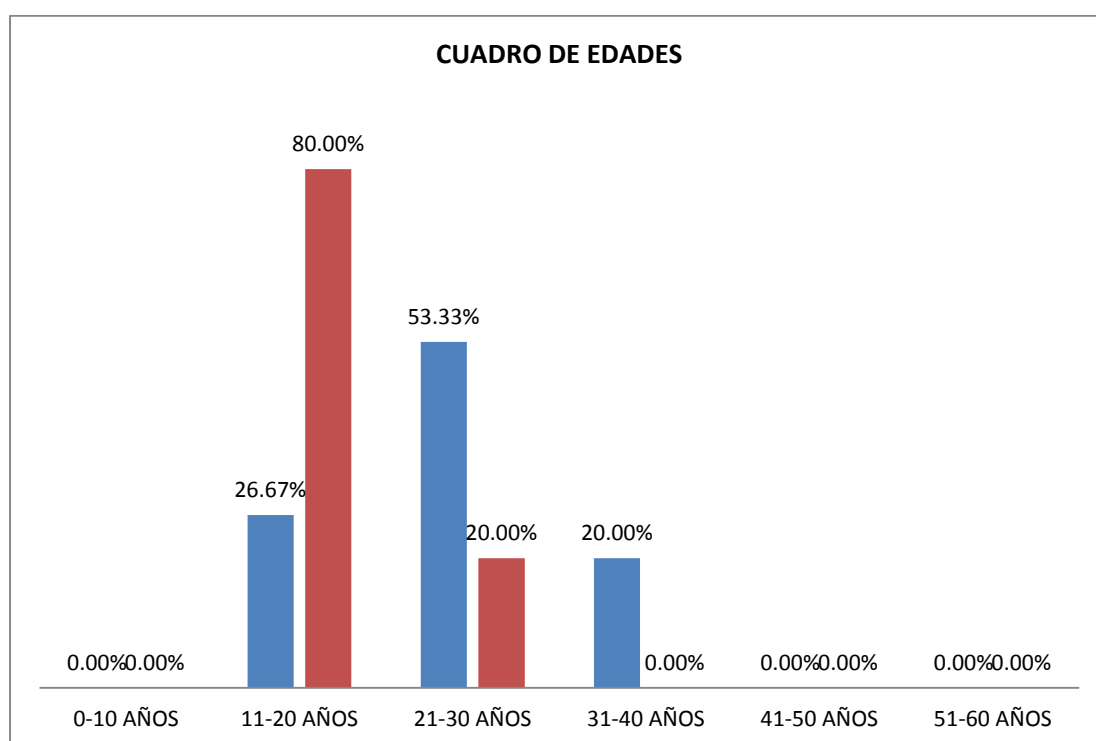


**Tabla 4. 13      DATOS COMPARATIVOS DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS.**

## COMPARATIVO DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS EN LAS 2 ZONAS

COMPARATIVO DE RESULTADOS		
CUADRO DE EDADES		
EDAD	ZONA: URB.VILLA FATIMA	ZONA: URB.JUANA MARIA
0-10 AÑOS	0.00%	0.00%
11-20 AÑOS	26.67%	80.00%
21-30 AÑOS	53.33%	20.00%
31-40 AÑOS	20.00%	0.00%
41-50 AÑOS	0.00%	0.00%
51-60 AÑOS	0.00%	0.00%
TOTAL	100.00%	100.00%

## COMPARATIVO DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS EN LAS 2 ZONAS

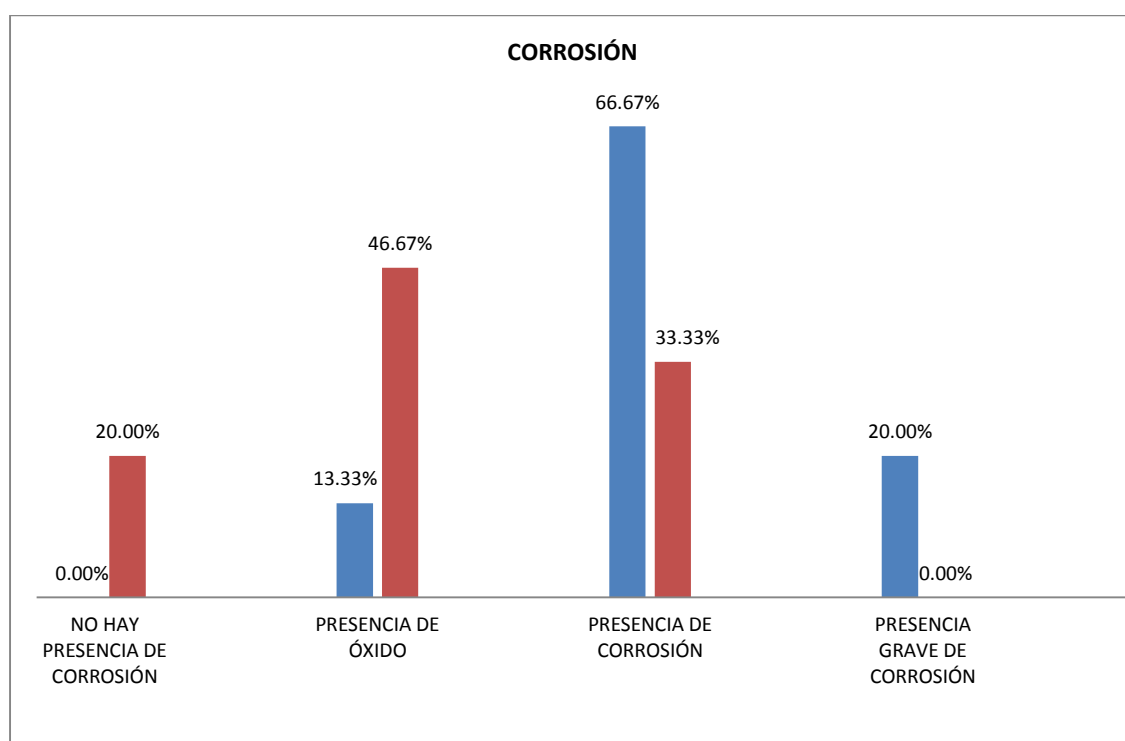


**Tabla 4. 14      DATOS COMPARATIVOS DE EDADES DE LAS VIVIENDAS.**

COMPARATIVO DEL CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DEL ACERO EN LAS VIVIENDAS EN LAS 2 ZONAS DE ESTUDIO

COMPARATIVO DE RESULTADOS		
CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO		
CORROSIÓN	ZONA: URB.VILLA FATIMA	ZONA: URB.JUANA MARIA
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	0.00%	20.00%
PRESENCIA DE ÓXIDO	13.33%	46.67%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	66.67%	33.33%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	20.00%	0.00%

COMPARATIVO DEL CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DEL ACERO EN LAS VIVIENDAS EN LAS 2 ZONAS DE ESTUDIO



**Tabla 4. 15 DATOS COMPARATIVOS DE CORROSION DE LAS VIVIENDAS**

COMPARATIVO DEL CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS DE LAS VIVIENDAS EN LAS  
2 ZONAS DE ESTUDIO

CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS		
CORROSIÓN	ZONA: URB.VILL A FATIMA	ZONA: URB.JUANA MARIA
COLUMNA	100.00%	73.33%
VIGA	80.00%	26.67%
ALIGERADO	60.00%	40.00%
SOBRECIMIENTO	40.00%	26.67%
ESCALERA	73.33%	46.67%

COMPARATIVO DEL CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS DE LAS VIVIENDAS EN LAS  
2 ZONAS DE ESTUDIO

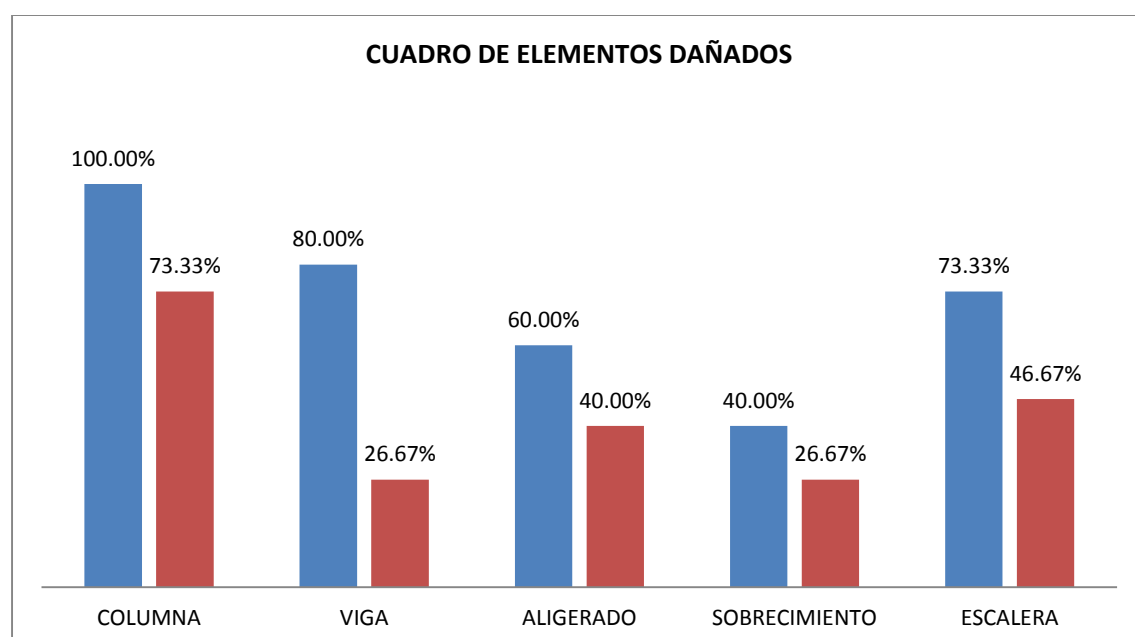


Tabla 4. 16

**DATOS COMPARATIVOS DE ELEMENTOS DAÑADOS DE LAS VIVIENDAS.**

### 4.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la zona: Urb. Villa Fatima se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Tabla 4.2** podemos observar que el 93.3% de obras de concreto armado presentan por eflorescencia, un 86.7% presentan manchas de humedad y un 73.3% presenta el acero oxidado.
- **Tabla 4.3** podemos observar que un 20% de obras de concreto armado oscilan entre 31 y 40 años de haber sido construidas, mientras que un 53.33% oscilan entre 21 y 30 años y mientras que un 26.67% oscilan entre 11 y 20 años,
- **Tabla 4.4** podemos observar que un 00% de obras de concreto armado no presentan corrosión, mientras que un 20% presentan graves daños de corrosión, un 66.67% presentan corrosión y un 13.33% presentan solamente oxidación de acero.
- **Tabla 4.5** podemos observar que el 100% de obras de concreto armado presentan daños en las columnas, mientras que un 40% se presentan daños en los sobrecimientos, y un 73.33% en las escalera, mientras que las vigas 80% presentan ningún tipo de daño.

En la Zona: Urb. Juana Maria se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Tabla 4.7** podemos observar que el 80% de obras de concreto armado presentan por eflorescencia, un 80% presentan manchas de humedad y un 93.3% presenta el acero oxidado.
- **Tabla 4.8** podemos observar que un 20% de obras de concreto armado oscilan entre 21 y 30 años de haber sido construidas, mientras que un 80% oscilan entre 11 y 20 años,
- **Tabla 4.9** podemos observar que un 20% de obras de concreto armado no presentan corrosión, mientras que un 00% presentan graves daños de corrosión, un 33.33% presentan corrosión y un 13.33% presentan solamente oxidación de acero.
- **Tabla 4.10** podemos observar que el 73.33% de obras de concreto armado presentan daños en las columnas, mientras que un 26.67% se presentan daños en los sobrecimientos, y un 46.67% en las escalera, mientras que las vigas 26.67% presentan ningún tipo de daño.



#### 4.4 COMPARATIVO FINAL

Al realizar una comparación entre las zonas en estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Tabla 4.11** podemos observar que los daños que predominan en las zonas estudiadas fueron: grietas o fisuras predominan en la zona I en un 80%, eflorescencia predomina en la zona I en un 93.3%, acero oxidado predomina en la zona II en un 93.3%, manchas de humedad predomina en la zona I en un 86.7%, protuberancia de concreto predomina en la zona I en un 13.33%, concreto fofo predomina en la zona I en un 66.7%, y cangrejas predomina en la zona I en un 53.33%.
- **Tabla 4.13** podemos observar que la existencia de corrosión en el acero que predominan en las zonas estudiadas fueron: no hay presencia de corrosión predomina en la zona II en un 20%, presencia de óxido predomina en la zona II en un 46.67%, presencia de corrosión predomina en la zona I en un 66.67%, presencia grave de corrosión predomina en la zona I en un 20%.
- **Tabla 4.14** podemos observar que los elementos dañados que predominan en las zonas estudiadas fueron: daños en columna predomina en la zona I en un 100%, daños en viga predomina en la zona I en un 80%, daño en el aligerado predominan en las zonas I en un 60%, daño en el sobrecimiento predomina en la zona I en un 40%, y daños en la escalera predominan en las zonas I en un 73.33%.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Los efectos de la corrosión sobre el acero de refuerzo consiste en la pérdida de la sección y disminución de su resistencia mecánica.
- Los efectos de la corrosión sobre el concreto consiste en manchas, grietas y desprendimientos o deslaminaciones en la superficie.
- Estos efectos condicionan la durabilidad de una estructura de concreto armado.
- El concreto armado es un material mixto que optimiza las propiedades del acero y del concreto, poniendo a disposición de arquitectos e ingenieros civiles un material de elevada resistencia mecánica y al fuego, de bajo costo, adaptable a varias formas geométricas.
- Una estructura de concreto armado, bien diseñada y fabricada de acuerdo a los códigos de buena práctica debería tener una durabilidad ilimitada.
- En las situaciones en las que la corrosión compromete la durabilidad de una estructura, el estado actual del conocimiento, permite su diagnóstico y la aplicación de métodos eficaces de prevención, corrección, reparación, rehabilitación y control.
- Para las estructuras nuevas, se deberá tener mucho cuidado en los agregados y el agua que se usarán para la producción del concreto. La cantidad elevada por daño por eflorescencia nos indica la presencia de agregados contaminados.
- El Urb Villa Fatima es la zona más crítica debido a los índices altos de daños y fallas que presentan las estructuras en esta zona.
- La Urb Villa Fatima tuvo prestamo de dinero del banco de materiales para la compra de materialism y mano de obra
- En las dos zonas de estudios el area de acero no cumple con el area necesitada para el concreto en las vigas, columnas

#### 5.2 RECOMENDACIONES

Como se podrá deducir es importante tomar medidas preventivas para evitar o postergar al máximo, la corrosión; los principales métodos de protección y control de corrosión se basan en eliminar algunos de los cuatro elementos que conforman la celda de corrosión (ánodo, cátodo, conductor iónico, conductor electrónico).

Debido a esto hemos creído conveniente subdividir las recomendaciones en 3 etapas: antes del proceso constructivo, durante el proceso constructivo y después de la

construcción, este último abarca las recomendaciones para la reparación.

### **5.2.1 ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO**

- Analizar las condiciones del suelo y del agua subterránea, en caso donde se tenga nivel freático alto, a fin de determinar las concentraciones de sulfatos y sales existentes, evaluando la posible magnitud del ataque químico.
- Se recomienda que los ensayos necesarios y los análisis químicos sean efectuados por un técnico experto. Porque la experiencia juega un rol muy importante en la interpretación de los resultados.
- En nuestro medio la existencia de ambientes fríos está asociada a altas temperaturas del medio ambiente y son las causantes de acelerar cualquier proceso degradante o corrosivo.
- Como sabemos el cemento tiene elevado calor de hidratación, si a esto agregamos el calor del medio ambiente en que se vea, se aumentará la posibilidad de formar micro fisuras por cambios de temperatura, lo que en ambiente fríos constituye una vía segura de introducción de agentes agresivos. Por esto es recomendable en zonas donde la temperatura y ambiente son elevadas, vacear el concreto antes del atardecer, usar aditivos plastificantes como la variedad de productos SIKA, CHEMA.
- Se deberá tener en cuenta el control de calidad de los materiales, los agregados gruesos y finos deberán tener los requisitos necesarios mediante el ensayo del laboratorio para su mejor resistencia de cada uno de los materiales.
- Evitar drásticamente el uso de cloruros o la presencia de estos en los componentes del concreto. Así, como no se debe usar cloruro de calcio como aditivo acelerante. Tampoco debe usarse agua de contaminada para el mezclado del concreto armado, por eso es recomendable realizar un análisis químico del agua que se empleará en el concreto, verificando que cumpla con las normas respectivas.

### **5.2.2 DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO**

- Se deberá tener en cuenta la protección adecuada de la cimentación, ya que de esto dependerá la durabilidad y protección contra los efectos de corrosión. Además dependerá de algunos parámetros como el nivel freático y el tipo de suelo, por eso es recomendable impermeabilizar por completo la superficie de la cimentación utilizando impermeabilizantes.
- Recomendamos usar la brea como material impermeabilizante por su economía y

efectividad, aplicándose inicialmente en el solado antes del vaciado del concreto, para luego continuar con las superficies de la cimentación

- El concreto a vaciar debe ser cuidadosamente dosificado, vaciado, compactado y curado. Con esto se conseguirá una baja porosidad y, por lo tanto, una alta permeabilidad.
- El curado del concreto se debe llevar a cabo durante un periodo mayor que el normal, no debe ser menor de 14 días siendo lo recomendable un periodo de 28 días.
- Una buena mezcla no asegura un buen concreto en obra, claro está que dependerá de la compactación y el estado de conservación del acero.
- Muy importante considerar también la compactación o el vibrado del concreto para que tenga una distribución homogénea de la mezcla.
- Se recomienda un recubrimiento mínimo sobre el acero de refuerzo de 2 a 5 centímetros de concreto.
- Usar concretos densos de baja permeabilidad, esto significa utilizar relaciones de agua cemento bajas o lo que es lo mismo, resistencias altas.
- Hoy en día se recomienda que la relación agua cemento en concretos expuestos no debe ser mayor de 0.50, lo que significa resistencias a compresión en obras característica mínima debe ser de 210kg/cm<sup>2</sup>.
- Si se quiere impermeabilidad superficial no se puede usar encofrado deficiente o deteriorado sin curado efectivo no hay hidratación efectiva
- También es recomendable el uso de inhibidores de corrosión que se agrega a la mezcla de concreto para proteger la armadura contra el ataque corrosivo, éste método podría ser la mejor solución en aquellos casos donde el concreto se prepara con agua salubre, también en aquellos trabajos que se ejecuten en construcciones en zonas de salpique en ambientes fríos

### **5.2.3 DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN (REPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA)**

- En estructuras existentes dependerá en gran medida del diagnóstico de la patología determinada en general puede ser:
- El uso de pinturas protectoras aplicados sobre el concreto en forma líquida formando una capa protectora (epóxicos, acrílicos y poliuretanos).
- También puede aplicarse protección directa sobre el acero, tales como:
- Recubrimientos. - Lijado y pintado de la armadura con recubrimientos epóxicos y

también galvanizados de la armadura.

- El recubrimiento epóxico protege por barrera, de allí que cualquier poro y daño del revestimiento es muy perjudicial para la protección del acero.
- Protección catódica.- Este sistema es el único que se puede considerar como de verdadero control de la corrosión, ya que permite que la armadura se comporte como cátodo.
- El problema de los daños en una edificación por corrosión debe enfrentarse, siendo necesario:
  - Hacer una visita de inspección.
  - Realizar un levantamiento de daños, para luego hacer un diagnóstico.
  - Hacer la reparación y dar un tratamiento posterior para que se detenga el efecto de corrosión y en todo caso para que no ocurra la corrosión.
  - En general cualquier método de reparación es la eliminación del concreto dañado y su reconstitución.
  - Si se requiere se hará un incremento de la sección de concreto por un mejorado material de reparación, la colocación puede ser de las siguientes maneras: (a mano, usando encofrados); esto dependerá también de los materiales elegidos para la reparación como la extensión y la localización de la zona a reparar.
  - Se elegirá también si la reparación va ser extensa o limitada en las zonas que aparecen dañadas, es decir, si se realizará un parcheo, por otro lado se debe tener en cuenta que, los efectos estéticos se aplicará una pintura de acabado.
  - Debemos recalcar que la apariencia que tendrá la parte reparada comparada con la sana va ser muy difícil de igualar los colores del concreto antiguo y nuevo.
  - Las armaduras se deberán limpiar del óxido que lo recubre antes de proceder a colocar el nuevo material, además se podrá colocar un protector epóxico y habrá que asegurar la debida adherencia.
  - Es imprescindible asegurar un perfecto sellado entre armadura y material de reparación.
  - Reconstruir el concreto y sus propiedades físicas y estéticas y/o arquitectónicas
  - Las barras de fibra de carbono son un elemento de refuerzo estructural, para vigas y para muros de carga, en ambos casos el impacto estético es muy bajo, y el procedimiento de aplicación es muy sencillo; por lo que es una alternativa muy eficiente para elementos estructurales en funcionamiento.
    - En este trabajo se elaboraron vigas de concreto armado, de las cuales la mitad se reforzó con barras de fibra de carbono, para demostrar los incrementos significativos en cuanto a módulo de ruptura y carga máxima permisible; basados en un ensayo de flexión, con una carga

puntual aplicada y la viga simplemente apoyada en sus extremos. Se describe el proceso de aplicación de la fibra de carbono, demostrando su facilidad de aplicación y los requerimientos mínimos de preparación de un elemento de concreto para hacer funcionar el refuerzo. Según lo investigado, el refuerzo de barras de fibra de carbono ofrece una solución efectiva a problemas comunes; que van desde: incremento de cargas a una estructura, fatiga y envejecimiento del concreto y acero, hasta malos diseños estructurales.

- Se exponen a su vez experiencias nacionales e internacionales, en las cuales el refuerzo estructural con fibra de carbono, ha sido la solución a diferentes circunstancias, tanto en el campo de la construcción como en diversas industrias.
- Ejemplificando casos reales detallando el problema y la solución encontrada en la fibra de carbono. Aunque esta investigación se limita a un refuerzo estructural a flexión, en vigas de concreto, existen productos de fibra de carbono, que pueden utilizarse en refuerzos de columnas a compresión y confinamiento, refuerzos en zonas de corte en vigas y nudos de estructuras, así como muros de carga y pisos o pavimentos que requieran altas resistencias a la abrasión.
- Con la creciente necesidad de reparar o rehabilitar vigas de concreto armado surge la tecnología de refuerzo con barras de fibra de carbono. Sin embargo, el poco uso en Perú de estos métodos hace que se realicen reparaciones costosas, complicadas y que en ocasiones cambian las características y aspecto de las vigas a reforzar.
- En peores casos, por el desconocimiento de técnicas fáciles y rápidas, incluso se llega a extremos como demoler o simplemente no se hace ningún tipo de refuerzo, aunque la estructura lo amerite. Para esto se requiere estudiar los ensayos necesarios que determinarán el comportamiento y aplicación de las diferentes técnicas que se pueden aplicar, según las necesidades del entorno Peruano.
- Muchas de las tareas que se realizan con el refuerzo de vigas incluyen el uso de diversos equipos y maquinaria, por lo que dejan de ser rentables o prácticas cuando se encuentran condiciones adversas a las aplicaciones de las mismas. Este refuerzo dará solución a problemas tales como:
  - Incremento de cargas vivas a estructuras.
  - Refuerzos que requieren poco tiempo y espacio.

- Control y resane de fisuras.
  - Envejecimiento de los materiales.
  - Corrosión del acero de refuerzo.
  - Daño a partes estructurales.
  - Dimensiones insuficientes.
  - Área de acero insuficiente.
- Ante la necesidad de añadir a las vigas de una estructura mayor resistencia a flexión, tensión y elevación del módulo de elasticidad con elementos livianos pero resistentes, fáciles de maniobrar pero eficientes; se busca analizar el ensayo a flexión para que a través de los resultados que se obtendrán en el laboratorio, se puedan determinar diferencias que reflejen el uso y beneficios estructurales obtenidos con la aplicación de barras de fibra de carbono.

### 5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI 364.1R-94 Guide for Evaluation of Concrete Structures prior to Rehabilitation.
2. Casabonne R. Carlos “Corrosión en Obras Marinas”, organizado por el A.C.I., Lima. Octubre 1993, Pág. 1,20.
3. Helene Paulo Roberto, “El fenómeno de la corrosión en la vida útil del concreto”
4. Corzo Aliaga Agustín Víctor, Tesis “Corrosión en estructuras de Concreto Armado” – 1994.
5. Comisión iv, grupo español de hormigón, “Durabilidad de estructuras de hormigón”.
6. Díaz Isabel – Quezada Gaby - Pasquel Enrique, “Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado Atacadas por Corrosión” ACI PERU 1ra Edición 2002, Pág.1, 9.
7. “Durabilidad y patología del concreto” Diego Sánchez de Guzmán. Asociación colombiana del concreto.
8. Instituto de Corrosión y Protección – PUCP, Archivo de Casos Prácticos.
9. Oladis de Rincón, Aleida de Carruyo, Carmen Andrade, Paulo Helene e Isabel Díaz (Eds), Red DURAR, Sub-Programa XV, CYETD – “Manual de Inspección, Evaluación y diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, 1997, 1ª Edición, Pág. 1,47.
10. Rivera Feijoo, Julio “Experiencias Constructivas en la Reparación de Estructuras de Concreto Armado”, organizado por el A.C.I., Lima. Octubre 1993, Pág. 1,20.
11. S. Feliz, C. Andrade (Coord.) - Consejo Superior de investigaciones Científicas Corrosión y Protección de materiales “Manual Inspección de Obras dañadas por Corrosión de Armaduras”, CSIC, Madrid 1988, Pág.6,36.



# ANEXOS

## 6.1 FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL

<b>FICHA DE EVALUACION</b>					
<b>PROYECTO:</b> _____	<b>FECHA INSPECCION:</b> _____				
<b>UBICACIÓN:</b> _____ _____	<b>RESPONSABLE:</b> _____				
<b>PROPIETARIO:</b> _____	<b>ZONA</b>				
	MARINA	_____			
	URBANA	_____			
	RURAL	_____			
	INDUSTRIAL	_____			
<b>AREA DE CONSTRUCCION</b>		<b>AÑO DE CONSTRUCCION</b>	_____		
PRIMER PISO:	_____ mts	<b>EVALUACIONES PREVIAS</b>	_____		
SEGUNDO PISO:	_____ mts		_____		
TERCER PISO:	_____ mts		_____		
TOTAL:	_____ mts		_____		
<b>HISTORIAL DE LA ESTRUCTURA (CRONOLOGIA)</b>					
<b>PROPIETARIO:</b> _____		<b>PERIODO:</b> _____			
<b>USO:</b> _____					
<b>PROPIETARIO:</b> _____		<b>PERIODO:</b> _____			
<b>USO:</b> _____					
<b>PROPIETARIO:</b> _____		<b>PERIODO:</b> _____			
<b>USO:</b> _____					
<b>INFLUENCIA MEDIO AMBIENTE</b>					
TEMPERATURA ZONA DE PROYECTO		SUSTANCIAS AGRESIVAS			
<b>MAXIMA:</b> <b>MINIMA:</b>	_____	FORMA	TIPO DE CONTACTO		
		LIQUIDA	_____	INMERSION	_____
		SOLIDA	_____	ESCORRENTIA	_____
HUMEDAD RELATIVA ZONA PROYECTO		GASEOSA	_____	VAPOR	_____
		DESCRIPCION SUSTANCIA:		OTROS	_____
(REGIMEN DE VIENTOS Y LLUVIAS)					
<b>PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL:</b>		_____			
		_____			
<b>VELOCIDAD MAXIMA DE VIENTO:</b>		_____			

FICHA DE EVALUACION					
PROYECTO:	TESIS UAP			FECHA INSPECCION:	ago-2015
UBICACIÓN:	JR. SAN JOSE M.H.L 24			RESPONSABLE:	XXXXXXXXXX
BARRIO VILLA FATIMA					
				<b>ZONA</b>	
PROPIETARIO:	CIRILO QUISPE SONCCO			URBANA	X
				RURAL	
				INDUSTRIAL	
<b>AREA DE CONSTRUCCION</b>					
PRIMER PISO:	112	mts			
SEGUNDO PISO:	112	mts			
TERCER PISO:		mts	AÑO DE CONSTRUCCION	1982	
TOTAL:	224	mts	EVALUACIONES PREVIAS	NO	
<b>HISTORIAL DE LA ESTRUCTURA ( CRONOLOGIA)</b>					
PROPIETARIO	CIRILO QUISPE SONCCO			PERIODO:	1982 A LA FECHA
USO:	VIVIENDA				
PROPIETARIO:				PERIODO:	
USO:					
PROPIETARIO:				PERIODO:	
USO:					
<b>INFLUENCIA MEDIO AMBIENTE</b>					
TEMPERATURA ZONA DE PROYECTO			SUSTANCIAS AGRESIVAS		
MAXIMA:			FORMA		TIPO DE CONTACTO
MINIMA:			LIQUIDA		INMERSION
			SOLIDA		ESCORRENTI
HUMEDAD RELATIVA ZONA PROYECTO			GASEOSA		VAPOR
MAXIMA:			DESCRIPCION		OTROS
MINIMA:					
			No hay presencia de sustancias agresivas en el		
(REGIMEN DE VIENTOS Y LLUVIAS)			entorno		
PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL:					
VELOCIDAD MAXIMA DE VIENTO:					



<b>DESCRIPCION ESTRUCTURAL</b>	
<b>CIMENTACION:</b>	Según datos obtenidos de personas que son originarias de la ciudad el edificio esta
	Responsable
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	La estructura del edificio esta en el metodo de marcos, columnas de 45 cms x 35 cms la cual consta de 2 niveles.
	Responsable
<b>SISTEMA DE CUBIERTA</b>	Es una losa densa de 15 cms de espesor, la cual presenta fisuras las cuales han sido
<b>MATERIALES</b>	Los materiales según se observo estan bajo norma.
	Responsable
<b>PROCESOS CONSTRUCTIVOS</b>	El proceso constructivo realizado durante la contruccion del edificio no se pudo constatar
	Responsable
<b>REGLAMENTOS UTILIZADOS</b>	No se encontro que reglamento se utilizo.

**GENERALIDADES INSPECCION VISUAL****FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA**

	PRESENCIA	AUSENCIA	UBICACIÓN
CONTAMINACION POR POLUCION			
CULTIBOS			
EFLORESENCIAS			
HUME			
DECOLORACION Y MANCHADO			
GOTE			

**MECANISMOS DE DETERIORO**

	PRESENCIA	AUSENCIA	UBICACIÓN
METEORIZACION			
EXPANSION DEL CONCRETO			
DESAPASIVACION DEL ACERO DE			
REFUE			

**MAIFESTACIONES ESTRUCTURALES**

	LEVES	SEVERAS	UBICACION
FISURAS			
GRIETAS			
DEFLEXION			
DESPLOMES			
DESGASTES			
DISTORCION			
DESCASCARONAMIENTOS			
HINCHAMIENTOS			



	MODERADO	SEVERO	UBICACIÓN
FRACTURAS DE CONCRETO			
APLASTAMIENTO			
CORRROSION DEL ACERO DE			
PERDIDA DE			

**MAIFESTACIONESQUIMICAS**

	LEVES	SEVERAS	UBICACIÓN
CARBONATACION			
EVIDENCIA DE ATAQUES QUIMICOS			

<b>GENERALIDADES INSPECCION VISUAL</b>				
<b>FACTORES QUE AFECTAN LA APARIENCIA</b>				
		PRESENCIA	AUSENCIA	UBICACIÓN
CONTAMINACION POR POLUCION		X		FACHADA NORTE
CULTIBOS		X		MURO PERIMETRAL
EFLORESSENCIAS		X		EJE B-B´ 2º NIVEL
HUMEDAD		X		EJE D-D, EJE E-E´ 2º NIVEL
DECOLORACION Y MANCHADO		X		EJE 1-1´ 2º NIVEL
GOTERAS		X		EJE 1-1´ 2º NIVEL
<b>MECANISMOS DE DETERIORO</b>				
		PRESENCIA	AUSENCIA	UBICACIÓN
METEORIZACION		X		FACHA PRICIPAL
EXPANSION DEL CONCRETO		X		EJE 1-1´ 2º NIVEL
DESAPASIVACION DEL ACERO DE REFUERZO				
<b>MAIFESTACIONES ESTRUCTURALES</b>				
		LEVES	SEVERAS	UBICACIÓN
FISURAS			X	LOSA TECHO
GRIETAS			X	EJE 1-1´ 1º NIVEL
DEFLEXION			-	
DESPLOMES			-	
DESGASTES				
DISTORCION		X		EJE A-A´ 2º NIVEL
DESCASCARONAMIENTOS				EJE 1-1´ 2º NIVEL
HINCHAMIENTOS				
		MODERADO	SEVERO	UBICACIÓN
FRACTURAS DE CONCRETO		X		EJE B-B´ 2º NIVEL
APLASTAMIENTO		-	-	
CORROSION DEL ACERO DE PERDIDA DE RESISTENCIA				EJE E-E´ 1º NIVEL
		-	-	
<b>MAIFESTACIONESQUIMICAS</b>				
		LEVES	SEVERAS	UBICACIÓN
CARBONATACION		-		
EVIDENCIA DE ATAQUES		-		

## 6.2 FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

		
FOTO		
		
ESQUEMA		
OBSERVACIONES: Se observan cultivos biologicos		
RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA	UBICACIÓN: AZANGARO	
FECHA DE EVALUACION: AGOSTO	PROYECTO: TESIS UAP JULIACA	
NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 1		





FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Se tiene presencia de eflorescencia la cual se pudo observar que es por la que se mantiene en la losa de entepiso la cual habia una escorrentia la cual produjo el manchado de la superficie dandole un aspecto blanco.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 2



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Se puede observar el efecto que ha provocado la humedad en la pared por la presencia de humedad, la condición de temperatura y el estado de la presión en que se encuentra la estructura.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 3



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Como se puede observar el daño en la estructura como es la decoloracion y el Manchado en la superficie de la edificacion.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 4



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Se encuentran manchas en la losa de entrepiso.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 5





FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: fractura del concreto por consecuencia del aumento del volumen del mismo.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 6



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Se observa la expansion de concreto, descascamiento.

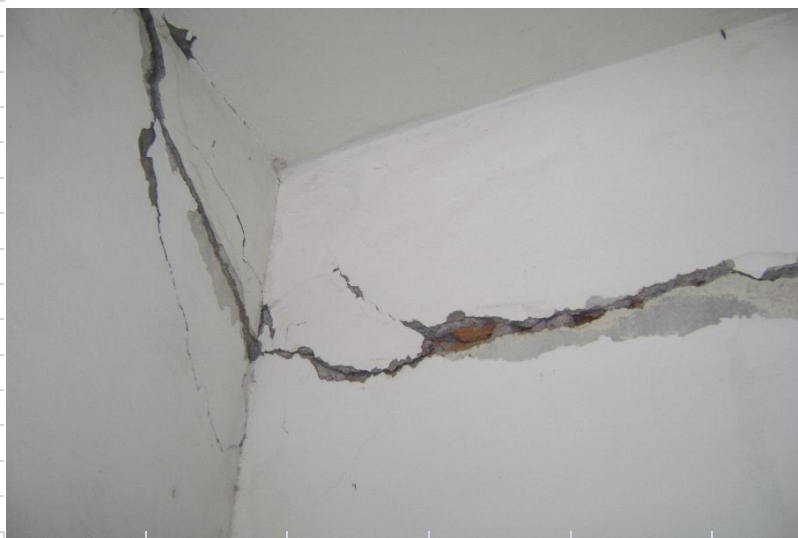
RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 7



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Existencia de grietas por cortantes debido a las cargas puntuales que afecta esa seccion, esto obedece a un esfuerzo combinado de cortante y flexión ya que atrabiesa todo el espesor del

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 8



FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Se observa la distorsion en la estructura.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 9





FOTO



ESQUEMA

OBSERVACIONES: Hay descascaramiento del mortero.

RESPONSABLE: ABDON YANQUI MACHACA

UBICACIÓN: AZANGARO

FECHA DE EVALUACION: AGOSTO

PROYECTO: TESIS UAP JULIACA

NUMERO DE FOTOGRAFIA N° 10