



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

**“PATOLOGIAS EN ESTRUCTURAS DE
HORMIGON ARMADO APLICADO A
MARQUESINA DEL PARQUE SAVAL”.**

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Patrocinante:
Sr. Adolfo Castro Bustamante
Ingeniero Civil, M.Sc. en Ingeniería Civil.
Especialidad Estructuras.

RAÚL NICOLÁS MONROY MARTIN
VALDIVIA - CHILE
2007

INDICE GENERAL.

Índice general	i
Resumen	iv
Summary.....	iv

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1.-PRESENTACION DEL PROBLEMA	1
1.2.-OBJETIVOS	2
1.2.1.-OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2.-OBJETIVO ESPECIFICO	2
1.3.-METODOLOGIA	2
1.4.-EVALUACION GENERAL.....	3

CAPITULO II: PATOLOGIAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.

2.1.- PAT. DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN.....	4
2.1.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS FABRICADOS EN CHILE	5
2.1.2.- PATOLOGÍA DEL CEMENTO.....	6
2.1.3.-PATOLOGÍA DE LOS ÁRIDOS.....	7
2.1.4.-PATOLOGÍAS DEL AGUA.....	7
2.1.5.- PATOLOGÍAS POR ADITIVOS.....	8
2.2.- PATOLOGIAS DEL HORMIGON ARMADO.....	9
2.2.1.- Compacidad	9
2.2.1.1.- INFLUENCIA DE LA RELACIÓN ÁRIDO-CEMENTO.....	9
2.2.1.2.- INFLUENCIA DE LA DOSIFICACION DEL CEMENTO.....	10
2.2.1.3.- INFLUENCIA DE LA RELACION AGUA-CEMENTO.....	10
2.2.1.4.- AIRE OCLUIDO.....	11
2.2.2.- Corrosión	11
2.2.2.1.- MECANISMOS DE CORROSION DE LAS ARMADURAS.....	12
2.2.3.- Piritosis	17
2.2.4.- Aluminosis	17
2.2.5.- Efecto del fuego sobre estructuras de hormigón armado	19
2.2.5.1.- ACERO.....	19
2.2.5.2.- HORMIGON ESTRUCTURAL ARMADO.....	20
2.2.5.3.- DILATACIÓN TÉRMICA DEL ACERO Y EL HORMIGÓN.....	21

2.2.6.- Patologías por acciones sísmicas	25
2.2.6.1.- EFECTOS SOBRE CONSTRUCCIONES.....	26
2.2.6.2.- DESCRIPCION Y ORIGEN DE LO DAÑOS.....	26
2.2.6.3.- EFECTOS SOBRE EL TERRENO.....	28
2.2.6.4.- PELIGROSIDAD SISMICA SEGÚN EL LUGAR.....	29
2.2.6.5.- LICUEFACCIÓN DEL TERRENO.....	30
2.2.6.6.- MANIFESTACIÓN DEL SISMO EN UNA EDIFICACIÓN.....	31
2.2.6.7.- PREVENCIÓN DE DAÑOS.....	32
2.2.6.8.- SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	33
2.2.7.- Patologías por defectos de ejecución	34
2.2.7.1.- DESCRIPCION Y ORIGEN DE LOS DAÑOS.....	34
2.2.7.1.1.- Replanteo.....	35
2.2.7.1.2.- Fase de encofrado y colocación de armaduras.....	35
2.2.7.1.3.- Hormigonado.....	36
2.2.7.1.4.- Instalaciones / Acabados.....	37
2.2.8.- Sintomatología en las estructuras de hormigón armado	37
2.2.8.1.- FISURACION.....	38
2.2.8.1.1.- Fisuras debidas a problemas del propio hormigón.....	39
2.2.8.1.2.- Fisuras en estado plástico.....	39
2.2.8.1.3.- Fisuras de afogado.....	39
2.2.8.1.4.- Fisuras de retracción hidráulica.....	40
2.2.8.1.5.- Fisuras por entumecimiento.....	42
2.2.8.1.6.- Fisuras de origen térmico.....	42
2.2.8.1.7.- Fisuras de ejecución en estado plástico.....	42
2.2.8.2.- FISURAS POR SOLICITACIONES EXCESIVAS.....	43
2.2.8.2.1.- Fisuras de elementos estructurales por flector.....	44
2.2.8.2.2.- Fisuras de elementos estructurales por cortante.....	48
2.2.8.2.3.- Fisuras de elementos estructurales por compresión.....	52
2.2.8.2.4.- Fisuras de elementos estructurales por torsión.....	53
2.2.8.2.5.- Fisuras de elementos estructurales por punzonamiento.....	54
2.2.8.2.6.- Fisuras de elementos estructurales por esfuerzo rasante.....	56
2.2.8.3.- FISURAS POR MALA DISPOSICION DE ARMADURAS.....	57
2.2.8.4.- FISURAS POR CORROSION DE LAS ARMADURAS.....	58
2.2.8.5.- FISURAS POR EXESO DE DEFORMACION.....	58
2.2.8.6.- FISURAS POR ASIENTOS EXESIVOS.....	59
2.2.8.7.- DESAGREGACIONES.....	59
2.2.8.8.- DISGREGACIONES.....	60

2.2.8.9.- EFLORESCENCIAS.....	60
-------------------------------	----

CAPITULO III: RECONOCIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO.

3.1.- ANTECEDENTES GENERALES.....	62
3.2.- HISTORIA SISMICA.....	63

CAPITULO IV: PATOLOGIAS DEL EDIFICIO: ANALISIS Y SOLUCIONES.

4.1.- ENSAYO ESCLEROMETRICO (Martillo Schmidt).....	64
4.2.- ENSAYO DE ULTRASONIDO.....	66
4.3.- ENSAYO DE COMPRESION.....	74
4.4.- ENSAYO DE CARBONATACION POR MEDICION DE FENOFTALEINA... ..	76
4.5.- ANALISIS Y SOLUCIONES.....	78
4.5.1.- Resultados de ensayo esclerometrico	78
4.5.1.1.-Análisis estadístico.....	81
4.5.2.- Resultados ensayo de ultrasonido	83
4.5.3.- Resultados de ensayo de fenoftaleina	86
4.5.4.- Patologías propias del edificio	86
4.5.5.- Soluciones propuestas	88

CAPITULO V: CONCLUSIONES.....93

REFERENCIAS.

ANEXOS.

ANEXO A: ELEMENTOS ESTRUCTURALES ENSAYADOS.....	99
ANEXO B: FOTOGRAFIA DE ENSAYOS APLICADOS A LA ESTRUCTURA.....	105
ANEXO C: SOLUCION PROPUESTA MARQUESINA.....	111
ANEXO D: FOTOGRAFIAS EDIFICIO.....	113
ANEXO E: RESULTADOS ANALISIS ESTADISTICO.....	119
ANEXO F: PLANOS EDIFICIO.....	127

RESUMEN.

En la presente investigación se analizaron las principales patologías en un edificio de hormigón armado construido en el año 1950 aproximadamente, éste esta ubicado en el parque Saval en Valdivia X región de Chile. Se analizaron las posibles patologías existentes por medio de inspección visual y ensayos no destructivos y destructivos para determinar de manera tangible las posibles patologías, así se procedió en cada caso particular, a dar una solución al problema desde el punto de vista de la terapéutica más viable, práctica e idónea acorde a la patología en cuestión.

SUMMARY.

In the following investigation, the main pathologies of a reinforced concrete building was analyzed which was constructed in 1950 approximately. This building is located in the Saval Park in Valdivia, X region of Chile. The possible existing pathologies was analyzed through visual examination and destructive and not destructive essays to determinate in a tangible way the possible pathologies. Therefore it was proceeded to give a solution to each particular case from the point of view of the most viable, practical and suitable therapeutic, according to the pathology in question.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1.- PRESENTACION DEL PROBLEMA.

Al hablar de patologías del hormigón nos estamos refiriendo a un tema que esta en el tapete actual y que sin duda alguna es de gran interés y trascendencia en estos días.

La patología no es una ciencia moderna; las fallas defectos y enfermedades que sufren las estructuras de hormigón armado son tan antiguos como el mismo material, sin embargo las estructuras en la actualidad exigen mayores cuidados que las de antaño, ya que éstas en la mayoría de los casos, poseían secciones sobredimensionadas que podían soportar agresiones durante años sin peligrar su integridad. Por consiguiente, las estructuras de hoy en día exigen un mayor cuidado en el proyecto, en sus materiales componentes, más protección, más vigilancia en la ejecución, más mantenimiento que en definitiva se traduce en una mejor calidad y durabilidad frente a los agentes agresivos.

En Chile estamos viviendo un momento en que la calidad en el diseño y construcción son fundamentales. Los ingenieros, constructores, técnicos y la administración están conscientes de que la calidad es rentable a corto y a largo plazo, no solo por el hecho de que se evitaren costos en reparación y mantenimiento o se aumente la vida útil de una obra, sino que también por un tema de prestigio nacional, que proyecta una imagen internacional, que al fin y al cabo se traduce también en beneficios económicos.

Sin duda alguna, una persona y una estructura tienen un factor en común desde el punto de vista de fortaleza y durabilidad. Éste depende no solo de los cuidados que se hayan tenido durante su gestación o proyecto, sino que también durante su crecimiento o construcción y luego a lo largo de su vida.

Una obra esta sometida no solo a la lluvia, humedad, viento, calor, heladas entre otros, sino que también a sollicitaciones que en definitiva pueden fatigarla o cansarla, que en conjunto con estos factores pueden llegar a causar daños importantísimos y considerables. Al igual que las personas, existen estructuras sanas y otras enfermas, éstas últimas enferman por razones de defectos en su gestación, por mínimos cuidados en su construcción o a lo largo de su vida. Es a una estructura en particular a las que se referirá esta investigación, una marquesina de hormigón armado construida aproximadamente en el año 1950, con fundaciones, losas, muros, pilares, vigas de hormigón armado como elementos estructurales constituyentes. Esta estructura esta en uso y que se ubica en el Parque Saval en la ciudad de Valdivia. Se analizaran las distintas causas que hayan podido motivar la enfermedad o patología que presente la estructura, tratando de obtener de acuerdo a estas la reparación o terapéutica más idónea para dar solución al problema.

1.2.- OBJETIVOS.

1.2.1.-OBJETIVO GENERAL.

El objetivo de la presente investigación, es identificar y analizar las posibles patologías en edificio de hormigón armado, ubicada en el parque Saval en la ciudad de Valdivia. Una vez identificada la patología proceder a dar la(s) solución(es) más adecuada para su reparación o mejoramiento.

1.2.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar si existe corrosión en los elementos estructurales en el edificio.
- Determinar si existe carbonatación en la estructura a estudiar.
- Determinar el estado del hormigón en los elementos a ensayar.

1.3.- METODOLOGIA.

-El estudio bibliográfico de las principales patologías que pueden encontrarse en estructuras de hormigón armado.

-Identificación de la marquesina en cuanto a su estructura y sus elementos constituyentes.

-La identificación in situ y posterior análisis de las posibles patologías que posea esta marquesina ubicada en el parque Saval en la ciudad de Valdivia. Esta identificación se hará en forma visual, documentando con fotografías dichas fallas o patologías en la estructura. Además se aplicarán ensayos no destructivos en particular el ensayo de ultrasonido y esclerométrico, los cuales conllevan una preparación de la superficie de los distintos elementos a estudiar. Los ensayos que serán efectuados por mi persona y los instrumentos de medición serán facilitados por el laboratorio de ensayos Lemco de la facultad de ciencias e ingeniería de la Universidad Austral de Chile. También se efectuará el ensayo de carbonatación por medición de fenoftaleina, para el cual se necesitará de la extracción de testigos, lo cual se hará por medio de una máquina extractora de testigos de hormigón endurecido que la facilitará el laboratorio de ensayos Lemco, además de un operario para el uso adecuado de dicha máquina.

Se procederá al picado del hormigón en algunas zonas con el fin de determinar si existe corrosión en éstas.

Un factor importante a considerar, es el acceso a los distintos lugares o puntos críticos para una adecuada y completa inspección o revisión de esta estructura, por lo cual se accederá por medio de andamios o escaleras externas a la obra existente.

1.4.- EVALUACION GENERAL.

Principalmente, dar a conocer las patologías más frecuentes; la solución más idónea y práctica en los distintos casos particulares a estudiar, lo que conlleva a conocer las deficiencias existentes en la forma de construcción en nuestro país. Es sabido que la calidad de la construcción es muy importante para los técnicos, constructores e ingenieros, ya que permite no sólo la disminución en costos de mantención y reparación, sino que también nos permite proyectar un prestigio nacional en cuanto a nuestra calidad de construir, que a la vez produce una imagen internacional que a fin de cuentas, se puede traducir en beneficios económicos y sociales.

Por medio de la investigación, aportar a conservar el patrimonio arquitectónico de la ciudad de Valdivia.

También podemos hablar de un problema estético, producido por las patologías existentes, con lo cual se estaría aportando a mejorar el entorno en que vivimos.

CAPITULO II: PATOLOGIAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.

2.1.- PATOLOGÍAS DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN.

El hormigón esta constituido por:

- Cemento.
- Áridos.
- Agua.
- Aditivos.

El cemento se presenta en forma de un polvo finísimo, de color gris, que mezclado con agua, forma una pasta que endurece tanto bajo agua como al aire. Por la primera de estas características y por necesitar agua para su fraguado, se le define como un aglomerante hidráulico.

Es obtenido mediante un proceso de fabricación, que utiliza principalmente 2 materias primas: una caliza, con alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio; y un componente de sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno.

Estos componentes son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión incipiente en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado clínquer, constituido por 4 compuestos básicos:

- Silicato Tricálcico ($3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$), designado como C_3S .
- Silicato bicálcico ($2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$), designado como C_2S .
- Aluminato tricálcico ($3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), designado como C_3A .
- Ferroaluminato tetracálcico ($4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), designado como C_4AF .

El clínquer es sometido a molienda mediante molinos de bolas hasta convertirlo en el polvo finísimo ya mencionado, adicionándose en esta etapa una proporción de yeso alrededor de un 5 % de su peso, destinado a regular el proceso de fraguado de la pasta de cemento, la que de otra manera endurecería en forma casi instantánea. El cemento así obtenido se denomina cemento Pórtland.

Durante la molienda, se pueden adicionar otros productos naturales o artificiales, constituyendo así los cemento portlands con adiciones o especiales.

2.1.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS FABRICADOS EN CHILE.

La Norma NCh 148 of 68 (Cemento-Terminología, clasificación y especificaciones generales) clasifica a los cementos nacionales según su composición y resistencia en la forma que se indica en las Tablas siguientes:

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinker	Puzolana	Escoria
Portland	100%	-	-
Portland con agr. Puzolánico	$\geq 70\%$	$\leq 30\%$	-
Siderúrgico	$\geq 70\%$	-	30%
Cemento con agr. Puzolánico	50-70%	30-50%	-
Siderúrgico	25-70%		30-75%

Clasificación de los cementos según su composición.

Grado	Resistencias Mínimas			
	Compresión		Flexión	
	7 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)	7 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
Corriente	180	250	35	45
Alta resistencia	250	350	45	55

Características de los Cementos nacionales y Ensayos Normalizados.

Características	Ensayo	
	Norma	Valor Especificado
Peso específico	NCh 154	3.0 kg/dm ³ (C. Portland)
Tiempo Fraguado (Consistencia Normal)	NCh 152 (NCh 151)	Comienzo Fin CC < 60 min CC < 12 h (1) CAR < 45 min CAR < 10 h (2)
Finura Sist. Blaine	NCh 159	Nota 3
Sist. Wagner	NCh 149	Nota 3
Tamizado	NCh 150	Nota 3
Resistencia	NCh 158	Ver Tabla 2
Calor Hidratación	ASTM C 186	Nota 4%
Expansión Autoclave	NCh 157	Máx. 1%

Nota:

- 1- CC: Cemento Corriente.
- 2- CAR: Cemento Alta Resistencia.
- 3- La norma no especifica valores.

El tiempo de fraguado para cada tipo de cemento será el indicado en la tabla (se fijara según las normas (NCh 151 Of. 68 y NCh 152 Of. 57)).

Grado	Tiempo Fraguado	
	Inicial (min.)	Final (máx.)
Corriente	60 min	12 hrs.
Alta resistencia	45 min	10 hrs.

Cementos Comerciales en Chile.

Clase	Composición	Marca	Grado
Portland	Clinker	Super Melón	Alta Resistencia
		Polpaico Portland	Alta Resistencia
Portland Puzolánico	Clinker y hasta 30% de puzolana	Melón Especial	Corriente
		Polpaico Especial	Corriente
		Melón Extra	Alta Resistencia
		Polpaico 400	Alta Resistencia
		Inacesa Alt. Resist.	Alta Resistencia
Puzolánico	Clinker y 30% a 50% de puzolana	Inacesa Especial	Corriente
Siderúrgico	Clinker y 30% a 75% de escoria de alto horno	Bio Bio Especial	Corriente
		Bio Bio Alt. Resist.	Alta Resistencia

2.1.2.- PATOLOGÍA DEL CEMENTO.

- Falso fraguado: Debida a la hidratación rápida del yeso.
- Retracción por exceso de calor de hidratación: Depende del C₃A.

- Retracción hidráulica.
- Exceso de C_3A : Lleva a resistencias bajas a los ciclos de hielo-deshielo y a atacabilidad por los sulfatos.
- Exceso de cal libre: Es expansivo, produciendo fisuraciones en el hormigón.
- Exceso de cal liberada en la hidratación: Da hormigones atacables por el agua pura o ácida.
- Reacciones con los áridos: Los álcalis del cemento pueden reaccionar con áridos silíceos, dando compuestos expansivos.

2.1.3.-PATOLOGÍA DE LOS ÁRIDOS.

Por razones económicas y de estabilidad físico-química, es conveniente que la pasta de cemento sea sustentada por un esqueleto inerte.

Este papel es desempeñado por un árido, el que constituye normalmente alrededor de 65 a un 75% del volumen total del hormigón y el cual está integrado por partículas granulares de material pétreo de tamaño variable.

Estas partículas se originan por fragmentación de las rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial, son fundamentales para la resistencia del hormigón.

Generalmente el árido se constituye mediante el aporte de varias fracciones distintas, conteniendo cada una distintos tamaños de partículas.

En general poseen pocos problemas patológicos, algunos de estos son:

- Exceso de finos (áridos de machaqueo), que produce bajas de resistencia.
- Áridos muy alargados que exigen mayor cantidad de agua y producen igualmente bajas de resistencia.
- Áridos tienen compuestos de azufre, como la pirita, que reaccionan con el cemento, dando compuestos expansivos que destruyen completamente la masa de hormigón. (Patologías muy graves).

2.1.4.-PATOLOGÍAS DEL AGUA.

Desde el punto de vista patológico, el empleo en el amasado del hormigón de aguas no potables y no sancionadas por la práctica, puede crear problemas a corto y largo plazo en el hormigón.

Si bien, los efectos patológicos en el hormigón en masa por aguas que contienen impurezas dentro de ciertos límites no son de gran importancia, si lo son dentro del hormigón armado, donde la existencia de cloruros puede dar lugar a corrosiones importantes de armaduras, además de manchas y eflorescencias superficiales.

Si el empleo de aguas no adecuadas en el amasado de hormigones resulta perjudicial, aun lo es más la utilización de ésta agua en el curado de los hormigones. Según Nch 1498 of.82 (Hormigón-agua de amasado-requisitos).

Las aguas deben analizarse cuando no se tengan antecedentes de su utilización y buen comportamiento y en caso de que existan dudas sobre su idoneidad.

El agua desempeña dos roles en su calidad de componente del hormigón:

- Participa en el proceso de hidratación del cemento, el cual no puede tener lugar sin su presencia.
- Otorga la trabajabilidad necesaria al hormigón, siendo determinante para definir su fluidez.

En consecuencia, un componente fundamental del hormigón, ya que su presencia condiciona tanto el desarrollo de las propiedades en su estado fresco como en la etapa de su endurecimiento.

Problemas patológicos:

- Substancias nocivas disueltas en agua que produzcan corrosión química del hormigón.
- Exceso de agua, que disminuye enormemente la resistencia final del hormigón.

2.1.5.- PATOLOGÍAS POR ADITIVOS.

Son productos que añadidos al conglomerante, mejoran sus propiedades con carácter permanente.

Algunos factores a considerar:

- Mejoran pero no arreglan un hormigón si es defectuoso.
- La mejora de una propiedad puede empeorar otras.
- Algunos aditivos en exceso pueden modificar su comportamiento en sentido contrario. Esto se produce a nivel local, por lo que es muy importante que se repartan homogéneamente en toda la amasada.
- Los aditivos con menores problemas suelen ser los plastificantes, mientras que los más problemáticos suelen ser los inclusores de aire y los aceleradores de fraguado, que incluso, pueden acelerar los procesos de corrosión.
- Cuidar las dosificaciones, asegurar un reparto homogéneo y utilizar aditivos de comportamiento suficientemente contrastado y convenientemente garantizados por el fabricante.

Las patologías en el hormigón armado entendido como un todo, pueden ser causadas por diversos factores. Estas patologías, producirán problemas de resistencia y durabilidad que se dan debido a la compacidad y a los procesos de corrosión en el hormigón.

A continuación se darán a conocer los más relevantes acordes con el tema.

2.2.- PATOLOGIAS DEL HORMIGON ARMADO.

2.2.1.-COMPACIDAD:

Esta depende de cuatro factores:

- Relación árido-cemento.
- Dosificación del cemento.
- Relación agua-cemento.
- Aire ocluido.

2.2.1.1.-INFLUENCIA DE LA RELACION ARIDO-CEMENTO.

- Es importante disponer de una granulometría adecuada¹, cabe destacar que las fracciones de tamaño inferior a 0.08mm^2 , y especialmente las que tienen finura comparable con el cemento, son gravemente perjudiciales para el hormigón, sobre todo, si la proporción en que entran es excesiva. Esto es debido a distintas causas, en las que caben destacar las siguientes:

-Los gránulos se interponen entre los del cemento, creando discontinuidades en la pasta hidratada y por tanto, debilitándola.

-Las fracciones finas, perjudican la buena adherencia entre la pasta cementante y los áridos gruesos.

-Dada la gran superficie específica de estos finos, requieren de mucha agua para su mojado, agua que restan al cemento provocando una hidratación incompleta de éste y por tanto, debilitando al hormigón.

-Exigen más agua para la misma consistencia, con lo cual, la relación agua/cemento tiene que aumentar a fin de conseguir la misma docilidad, disminuyendo, por el exceso de agua, las resistencias mecánicas.

-La mayor cantidad de agua que precisan los hormigones con finos, da lugar a efectos patológicos debido a la mayor retracción y mayor porosidad de estos hormigones, que pueden acelerar la destrucción de los mismos, si el ambiente es agresivo.

¹ NCh 165 Of.1977 (Áridos para morteros y hormigones)

² NCh 1223 Of.1977 (Áridos para morteros y hormigones)

El empleo de áridos escasos en fracciones comprendidas entre 0.08 y 2.5mm, da lugar a hormigones ásperos y poco plásticos, que son poco compactos, con lo cual son muy sensibles a la acción de los agentes agresivos.

- Una granulometría incorrecta puede paliarse con más cemento. Es preciso ser especialmente cuidadoso con la disposición constructiva, puesto que se producirán mayores retracciones.
- El árido debe ser compatible con la distancia entre armaduras, entre moldajes y entre moldajes y armaduras.

2.2.1.2.-INFLUENCIA DE LA DOSIFICACION DEL CEMENTO.

Es conveniente utilizar la cantidad mínima posible de cemento, compatible con la resistencia que se desee obtener. Es preferible utilizar menos cemento con una granulometría y relación agua-cemento correcta.

Las altas dosificaciones de cemento traen como consecuencia, fuerte calor de hidratación con las consiguientes elevaciones de temperatura, que se traducirán en fuertes retracciones térmicas con peligro de fisuración, fuertes retracciones hidráulicas, por tanto siempre se tienen que respetar las limitaciones de dosificación indicadas en la Nch 170 of 85 (Hormigón-Requisitos generales)

2.2.1.3.-INFLUENCIA DE LA RELACION AGUA-CEMENTO.

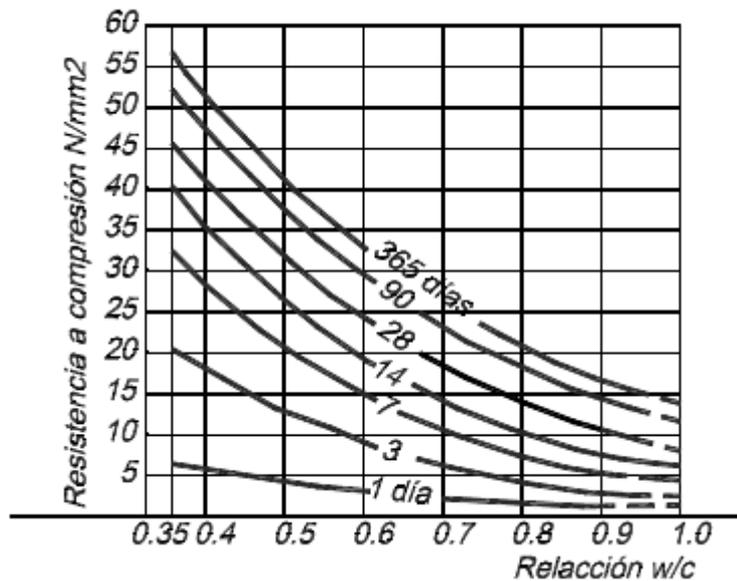
Para la hidratación de los componentes activos del cemento, bastaría con una relación agua/cemento teórica aproximada de 0.18³; todo exceso sobre esa cantidad, repercute en la compacidad, por tanto, a mayor cantidad de agua, mayor porosidad, menores resistencias mecánicas, mayor retracción y mayor riesgo de ataque al hormigón.

El mínimo real va desde 0.3-0.4 relación agua/cemento.

Los valores grandes de w/c, penalizan fuertemente la curva de endurecimiento del hormigón a igualdad del resto de las características.

³ Fernandez.M.1977.

GRAFICO RELACION AGUA/CEMENTO V/S RESISTENCIA DEL HORMIGON⁴.



2.2.1.4.-AIRE OCLUIDO.

- Forma parte del hormigón en una proporción del 2 al 5%.
- Disminuye la compacidad y la resistencia del hormigón, puede ser beneficioso al aumentar la durabilidad ante los ciclos hielo deshielo.

2.2.2.-CORROSION:

Este fenómeno se produce por ataques químicos de diversos medios agresivos:

- Aguas

En general el agua de amasada precisa ser potable, siempre respetando las limitaciones que fija la Nch 1498 of.82 (Hormigón-agua de amasado-requisitos).

Puede utilizarse agua de mar para hormigones simples, con una resistencia característica a la compresión inferior a 15 MPa, siempre que no exista otra fuente de agua en la zona⁵, pero es sabido que su resistencia disminuye aproximadamente en un 15% y normalmente aparecerán eflorescencias. Para hormigón armado, no debe emplearse puesto que el exceso de iones cloro favorece la corrosión de la armadura.

Las aguas puras atacan el hormigón por disolución.

Las aguas ácidas o salinas, atacan al cemento convirtiéndolo en sales solubles que se disuelven.

SO_4Ca —► Produce ettringita.

Cloruros —► Solubilizan la cal.

⁴ Fernandez.M.1977.

⁵ Nch 1498 Of 82.

Se produce una desagregación muy grave por disolución del cemento, pudiéndose observar cambio de color, fisuras entrecruzadas y abombamiento de la superficie.

- Gases atmosféricos

Se produce por combustión de carbón o petróleo o por gases industriales. Generalmente se trata de CO_2 que con el agua produce CO_3H_2 o SO_2 que produce SO_4H_2 que atacan al hormigón.

- Compuestos orgánicos

Existen componentes nocivos, que producen ácidos que atacan al hormigón y a veces a la armadura. Debemos tenerlo en cuenta a la hora de diseñar estructuras de hormigón que contengan los siguientes productos:

-Cerveza.

-Vino y derivados.

-Leche y mantequilla.

-Aceites y grasas.

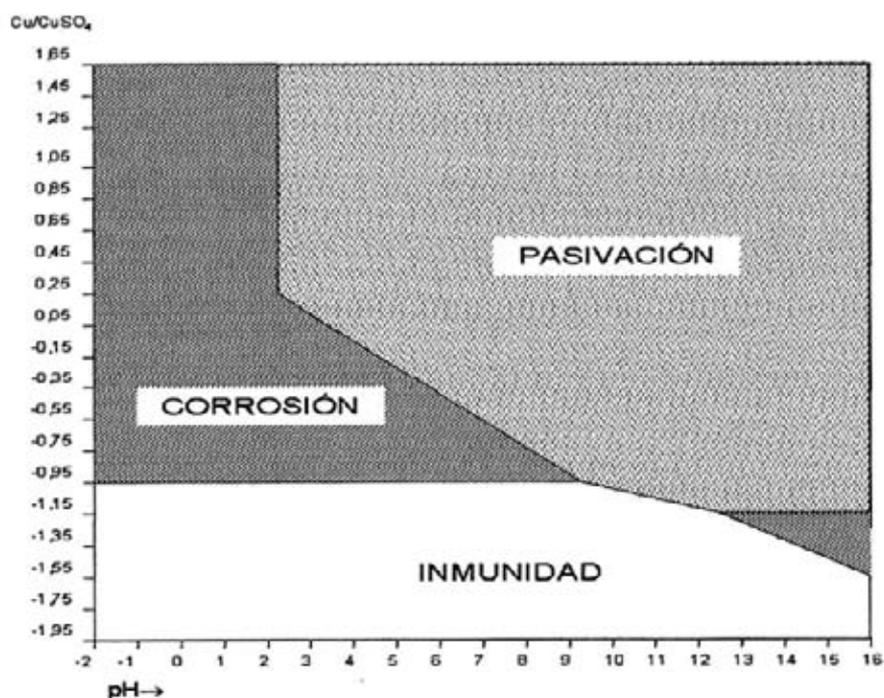
2.2.2.1.-MECANISMOS DE CORROSION DE LAS ARMADURAS.

El acero dentro del hormigón armado, se puede encontrar en tres estados: pasivado, corroído o inmune a la corrosión. El estado de pasivación, se logra cuando el acero se rodea de una capa de óxido llamada capa de pasivación. El pH del hormigón es básico, lo que provoca que en la superficie del acero se genere una capa pasivante compacta y continua, que está constituida por óxidos de hierro. Esta capa mantiene el acero pasivado por periodos indefinidos, aun cuando el hormigón se encuentre en presencia de elevadas humedades. La capa de pasivación, proviene de los productos insolubles, que se generan en el proceso de corrosión del acero. Esta capa es muy delgada e invisible al ojo humano. Cuando el acero se encuentra corroído, se produce la disminución del área con la consiguiente disminución de capacidad de carga de la estructura. Finalmente en el estado de inmunidad, el acero se encuentra totalmente protegido ante la posibilidad de corrosión.

Marcel Pourbaix, un investigador belga, generó un diagrama, en el que se ilustran los estados en los que se puede encontrar el acero. Las variables que contiene este diagrama son, pH y potencial eléctrico. En estos diagramas, los equilibrios existentes entre un metal y el agua a 25°C se representan por líneas que dependen del potencial, del pH o de ambos, delimitando así tres zonas donde se encuentran los tres estados del acero.

A continuación se muestra un diagrama de Pourbaix para la celda cobre-sulfato de cobre:

Diagrama de Pourbaix⁶.



La corrosión más frecuente o la habitual en las armaduras es la electroquímica.

En la hidratación del cemento (reacción entre el cemento y el agua), se forman entre otros, cantidades importantes de Ca(OH)_2 , llamado también portlandita, que otorga al conjunto un carácter eminentemente básico y que oscila entre 12 y 13 en valores de Ph (protector de la armadura).

Con el tiempo, el CO_2 de la atmósfera pasa a través de los poros del hormigón, se combina con los compuestos químicos de éste, principalmente, con el hidróxido cálcico, y llega a formar carbonatos cálcicos.

La transformación progresiva de los hidróxidos cálcicos, en carbonatos cálcicos, provoca el descenso del carácter básico hasta valores de Ph de 8 a 9, incluso inferiores, que hacen desaparecer la protección química que supone el pH básico (12–13) de cara a la corrosión de las armaduras.

La corrosión se produce a lo largo de toda la superficie de la armadura, y esto implica el consiguiente aumento de volumen del acero y, posteriormente, la aparición de grietas en el elemento constructivo.

Hay que decir, que la carbonatación comporta una serie de mejoras que serían excelentes si se tratara de un hormigón sin armar.

⁶ Barrera, H. 2003.

Estas características favorables son la mayor resistencia mecánica del hormigón, el aumento de la impermeabilidad superficial y mejor comportamiento respecto a las disoluciones agresivas.

Para diagnosticar elementos de hormigón sospechosos de presentar carbonatación, se suelen emplear diversos métodos, desde una simple inspección ocular, a la utilización de análisis químicos y microscópicos.

Para detectar, a primera vista, las patologías causadas por la carbonatación, será necesario buscar en principio, manchas de óxido y grietas longitudinales que sigan la dirección probable de la armadura.

La manera más clara de detectar esta patología, es mediante un procedimiento químico, basado en la reacción de la fenolftaleína con el hidróxido cálcico.

Para que se produzca corrosión electroquímica, es necesario:

- Destrucción de la capa pasivante.
 - Oxígeno.
 - Humedad
 - Iones de cloro que actúan como electrolitos.
- Destrucción de la capa pasivante \longrightarrow **Carbonatación**



Velocidad de carbonatación.

$${}^7D_c = \sqrt[N]{k * t} \quad \text{siendo } N=2 \quad (\text{ambiente seco})$$

$$N=2.2 \sim 2.3 \quad (\text{ambiente de humedad variable})$$

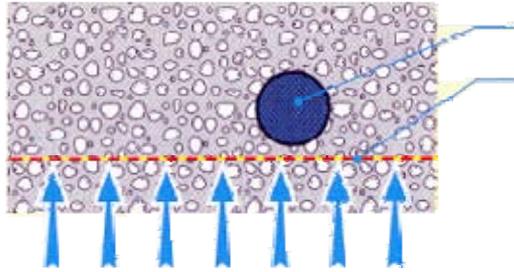
K depende de la permeabilidad del hormigón

La carbonatación, va avanzando progresivamente con el tiempo en la medida en que el oxígeno, anhídrido carbónico, humedad e iones cloro van penetrando a través de la red de poros intercomunicados que siempre tiene el hormigón superficialmente.

Distintas etapas de la carbonatación.

⁷ Perez V.2000.

Las fases de degradación del hormigón armado:

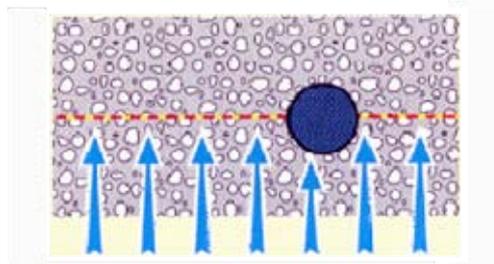


Ambiente húmedo y agresivo

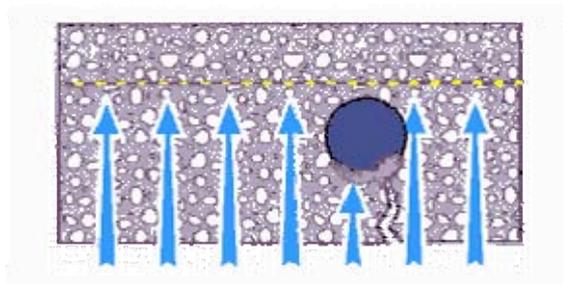
Acero.

Frente de ataque

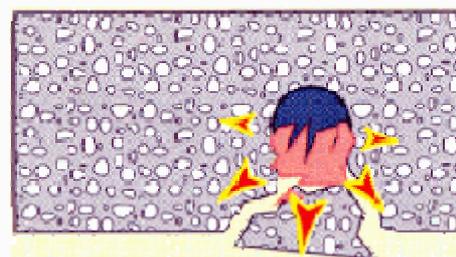
El hormigón armado es joven y estable pero comienza la penetración del CO₂ y del oxígeno.



La carbonatación avanza en dirección del acero que pronto se hará pasivo.



La corrosión comienza (en presencia de humedad) Se produce la primera fisuración.



Rotura

Fase final. Oxidación importante del acero con formación de sales expansivas.

Fragmentación y manchas de óxido.

ORIGEN.

Las principales causas son:

- 1.- La mala calidad del hormigón
- 2.- El insuficiente recubrimiento de las armaduras.

1.- La causa principal del desencadenamiento rápido de este proceso, es por lo tanto, después de lo que acabamos de ver, la porosidad excesiva del hormigón, cuyo origen se encuentra:

- En su composición (si la proporción entre arena y grava no es la adecuada).
- En su preparación y puesta en obra (por ejemplo exceso de agua en el vertido o una insuficiente vibración en la ejecución, en un secado demasiado rápido en del hormigón joven, debido al calor o aun tiempo demasiado seco sin o se han tomado las precauciones de proteger la superficie con un producto de curado apropiado)

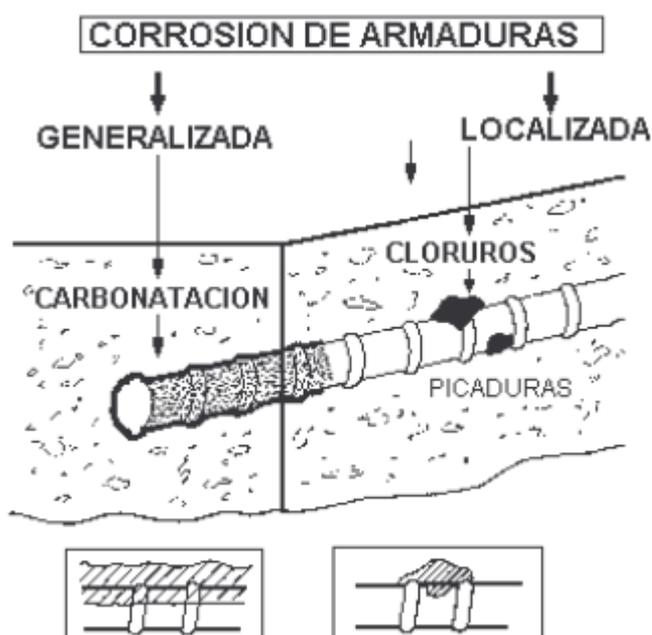
2.- La colocación de las armaduras sin precaución respecto a las distancias mínimas a la superficie.

- Debido a que la obra se han interpretado mal los planos.
- Debido a que los separadores previstos para asegurar la distancia requerida de recubrimiento, son insuficientes, las armaduras son susceptibles, en estos casos, de deformarse en el interior del encofrado y tender hacia el mismo bajo la presión del hormigón.

Un mecanismo importante para la corrosión, es el ataque de cloruros, este tipo de ataque al acero del hormigón armado, es el más agresivo y común. El ingreso de cloruros a la masa de hormigón, puede darse a través de los poros o en la adición de aditivos o materiales contaminados. Cuando los cloruros ingresan al hormigón lo hacen a través de la red de poros. Por este medio, puede ingresar el agua produciendo daños no en mucho tiempo. La porosidad del hormigón depende de varios factores, entre éstos se encuentran el tipo de cemento, la razón agua cemento, la cantidad de agregado, la compactación y el uso eventual de aditivos. En la corrosión se diferencian dos etapas: inicio y propagación. La primera etapa, es el tiempo que tardan los agentes agresivos en ingresar a través del hormigón hasta la superficie del acero de refuerzo y alterar su pasividad. La segunda etapa, conocida como propagación, se refiere al periodo de tiempo en el cual se pierde la pasividad y se manifiesta la corrosión en el exterior, en forma de manchas de oxido, agrietamientos o desprendimientos. El cloruro que llega al acero de refuerzo, se va concentrando hasta alcanzar una concentración crítica que rompe la estabilidad de la capa de pasividad. Diversos investigadores han informado sobre la concentración crítica del cloruro. Estos oscilan

entre un 0.2% hasta 2.3% por peso de cemento. La concentración crítica del cloruro depende de varios factores, tales como: adición de puzolanas, razón agua/cemento, cantidad de cemento, tipo de curado espesor del recubrimiento, y la compactación del hormigón entre otras. Cuando se alcanza la concentración crítica la estabilidad química de la capa de pasivación se ve alterada. Debido a la heterogeneidad del hormigón, ésta desestabilización se produce en algunos sectores en particular, es por esto que éste tipo de corrosión, se conoce como corrosión por picaduras.

Tipos de corrosión de armaduras y factores que los provocan.



2.2.3.-PIRITOSIS.

La utilización de áridos contaminados con piritas para la confección de hormigones, provoca una patología en los elementos de hormigón realizados in situ, consistente en la total desintegración de los elementos que se encuentran en contacto con el exterior.

2.2.4.-ALUMINOSIS.

Entre los años 1950 y 1980, aproximadamente, era muy frecuente, principalmente en países europeos, entre ellos España, el uso de cemento aluminoso.

El cemento aluminoso se fabrica a partir de la mezcla de bauxita y caliza, a diferencia del portland en el que se fusionan arcillas y caliza. Este tipo de cemento presenta una resistencia muy superior a la del cemento portland, en un tiempo mucho más reducido (en tan sólo 24 horas alcanza la resistencia del portland en 7 días), por lo que era muy apropiado para obras en las que

era necesaria una rápida puesta en uso o en la prefabricación (de ahí su mayor difusión en viguetas). Algunas otras ventajas son que se puede hormigonar a muy bajas temperaturas, por sus buenas características refractarias se puede emplear en construcciones que vayan a soportar elevadas temperaturas y que resisten a su vez la acción de agua de mar y aguas sulfatadas, siendo menos vulnerables que el portland.

No obstante, a pesar de estas ventajas, debido a su pérdida de resistencia mecánica con el tiempo en determinadas situaciones medioambientales, el uso de cemento aluminoso está prohibido para elementos estructurales.

El daño principal es la corrosión de las armaduras, lo que provoca en los elementos afectados:

- fisuras.
- flechas o deformaciones.
- desprendimiento de recubrimientos.
- pérdidas de sección del acero.

En forjados, debido a la corrosión de la armadura de las viguetas, pueden darse además:

- rotura por cortante cerca de los apoyos debido a la pérdida de resistencia del hormigón así como fallo por aplastamiento del hormigón.

- rotura a flexión: por la pérdida de sección de la armadura

todo ello puede llegar a provocar el colapso inminente de la estructura.

Para que se de lugar a distintas patologías como las mencionadas en el párrafo anterior, este cemento puede producir la **aluminosis** (que se puede dar cuando existe un ambiente continuado de humedad y la temperatura es elevada más de 25°C) en la que se produce la conversión de aluminatos hexagonales en cúbicos, afectando dicha transformación a la porosidad y resistencia de mecánica: el hormigón se vuelve más poroso y la resistencia puede llegar a reducirse hasta un 75%.

Si se da la conversión del cemento aluminoso y además se produce carbonatación (reacción del dióxido de carbono del aire con la parte alcalina del cemento dándose una reducción del ph) en presencia de humedad se facilita la corrosión provocando los daños muy graves e incluso el colapso de la estructura por la pérdida de sección de las armaduras.



Corrosión de armaduras.

2.2.5.-EFECTO DEL FUEGO SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO:

El hormigón estructural, además de las prestaciones de carácter resistente, presenta otras complementarias como la resistencia al fuego.

El fuego, como situación accidental, exige de las estructuras una capacidad de resistencia que permita desalojar, a las personas que lo estén utilizando, el objeto incendiado de manera que no se produzcan víctimas ni entre los usuarios ni entre el cuerpo de bomberos que actúa para controlar y extinguir el incendio.

El hormigón armado estructural, combina el material acero de las armaduras y el material hormigón que conforma el elemento estructural y que, mediante el espesor del recubrimiento, separa al acero del exterior.

2.2.5.1.-ACERO.

El acero es un buen conductor del calor, recordemos una de las formas clásicas de la transmisión del calor “conducción”, debido a que el hierro (elemento mayoritario en la composición del acero) como metal que posee electrones libres, lo que puede propagar el calor fácilmente a través de elementos construidos con este material (vigas, columnas, paneles, etc.) originando a continuación nuevos focos térmicos que expanden el área de calor a una nueva combustión.

Aún cuando el acero funde entre 1.300 ° C y 1.400° C, mucho antes de llegar a este punto, pierde su resistencia, reduciéndose a la mitad al llegar a los 500 ° C, el calor lo dilata con gran facilidad, llegando una viga de 20 m a alcanzar los 21 m a esta temperatura⁸, el acero estructural pierde dos tercios de su resistencia inicial y en proporción al aumento y dirección de la carga a la cual es sujeta, comenzando por pandear y ceder, con el consiguiente arrastre del resto de los elementos portantes de la construcción.

Este comportamiento del acero en estructuras de contenido, no presupone la presencia de altas temperaturas o anormales condiciones, sino que son suficientes de pequeños a moderados incendios para que se produzca la deformación del material. En general, todos los metales bajo la acción del calor presentan un riesgo máximo a la distorsión y colapso.

Cuando formando parte de un armazón estructural una viga de acero cede, se producirá simplemente un desplome local que dentro de la importancia de oponerse o resistir al incendio en conjunto, se comprende la necesidad de dotar a estos elementos estructurales de una protección acorde a su naturaleza o condiciones.

⁸ Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego.2006.

2.2.5.2.-HORMIGON ESTRUCTURAL ARMADO.

Por su parte el hormigón estructural armado, tiene por lo general una buena resistencia, ésta se define por el periodo de tiempo acorde a su comportamiento ante las temperaturas que se observan en el espectro de un incendio.

Dadas las características de su composición, el hormigón estructural no sufre generalmente colapsos ante un incendio; aunque es factible experimentar desvíos de posición tanto en la carga como en el suelo. La mayor parte de las estructuras suelen ser, después de haber sufrido la acción del fuego, lo suficientemente seguras como para restablecer sus funciones normales.

En relación a la tracción y la flexión, las resistencias del hormigón ante el fuego, son las más afectadas. En cambio, esta acción es mucho menor en la resistencia a la compresión, estableciendo en términos generales una reducción en la resistencia de un 80 % a unos 800° C.

Ante un incendio, incluso aquellos materiales considerados tradicionalmente como incombustibles (hormigón) no son lo suficientemente seguros contra el fuego. Si consideramos que en un incendio se alcanzan fácilmente 600° C a los 10 minutos de su inicio, y los 800° C a los 30 minutos, se comprende que incluso el hormigón no es absolutamente seguro.

A los 1000° C la grava se disgrega y el cemento se deshidrata. Si se mantiene una temperatura de entre 1.000° C a 1.200° C durante un tiempo aproximado de tres horas, los efectos del fuego sobre el hormigón son, con toda seguridad nefastos. Los elementos de hormigón se disgregan a una velocidad de unos cuatro (4) cm por hora y las armaduras a estas temperaturas, dejan de cumplir su función.⁹

El hormigón, aunque lentamente, puede corroerse, hasta su total destrucción, incluyendo su armadura. Todo elemento de construcción de superficie porosa, absorbe muy fácilmente los gases de la combustión, éstos en un incendio son gases ácidos, los cuales por el efecto de la reacción química se neutralizan con los compuestos cálcicos contenidos en el hormigón estructural formándose cloruro de calcio, sustancia higroscópica que, combinada en el interior de la masa, con el vapor de agua de extinción contenido en el aire confinado por la estructura del recinto, es absorbido igualmente por el hormigón en sus iones calcio y cloro.

⁹ Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego.2006.

De esta forma la corrosión del hormigón se produce de manera muy lenta tras el incendio continuando la migración o penetración alrededor de 0,25 a 2 cm² por día, si las condiciones del medio le son favorables y propias; en este caso es mucho más importante la corrosión del acero que la del hormigón, cuando las circunstancias no le son favorables. Los porcentajes de cloro susceptibles de dañar al hormigón armado, son aproximadamente de 0,6% de cloruro, para el hormigón armado normal.

2.2.5.3.-DILATACIÓN TÉRMICA DEL ACERO Y EL HORMIGÓN.

Es importante distinguir entre los materiales a la hora de juzgar su comportamiento ante el fuego, el hormigón, acero, piedra, cemento, etc., pueden considerarse como agentes pasivos frente al incendio. Es decir, nunca inician o propagan el fuego.

Considerándose al hormigón como material, su resistencia al fuego se determinará, fundamentalmente, por la protección que experimente el acero contra un excesivo aumento de temperatura. Esta resistencia será inversa a mayores gruesos entre superficies o inmediatas al acero embutido, estableciéndose que a mayor cubrimiento mayor será el periodo de resistencia, partiendo de la llamada “temperatura crítica” del acero sueva, alrededor de 550° C, y aproximadamente de 400° C para el acero sensible, resistente a la tracción.

Cuando el hormigón es recalentado por llama directa o por calor de convección y radiación, la zona externa calentada excesivamente se separa de la interior de masa totalmente fría. De ahí que la influencia del conglomerado de cemento en un hormigón expuesto a las elevadas temperaturas de un incendio, se traduzca en el concepto de resistencia (nunca inicia o propaga el fuego) agente pasivo. En una masa equivalente de 300 kg/ m³ la pérdida de agua de cristalización es tal, que el cemento queda pulverizado a temperaturas elevadas.

El siguiente cuadro indica la temperatura que se alcanza en un incendio, de acuerdo con la curva normalizada, en función del tiempo que dura el mismo, la temperatura que alcanzaría un acero estructural sin protección y aquella que alcanzaría una losa de hormigón de 10 cm de espesor a diversas profundidades, medidas desde la superficie exterior que sufre el incendio.

Si a esta profundidad se dispusiera una armadura de acero, a las diversas profundidades a las que nos referimos las llamaríamos “recubrimientos” y las temperaturas a las que nos referimos serían las temperaturas que alcanzaría el acero de la armadura dispuesta en función del recubrimiento.

El efecto del aumento de la temperatura sobre la estructura es doble, por una parte afecta a las características resistentes de los materiales (hormigón y acero en armaduras) y por otra genera una deformación (dilatación) impuesta que al no ser, en general, libre origina los esfuerzos correspondientes.

Tabla 1.- Temperaturas - Tiempos.¹⁰

Tiempo	Temperatura alcanzada °C			
	en el incendio	en el acero estructural sin protección	en la armadura con un recubrimiento r (cm)	
			r=3	r=4
30	815	815	205	140
60	925	925	370	270
90	990	990	490	350
120	1030	1030	570	425
150	1070	1070	620	490
180	1100	1100	660	510

Tabla 2.- Pérdidas de resistencia - Temperatura.¹¹

Temperatura T (°C)	Pérdida de resistencia (%)	
	Acero armadura	Hormigón
20	0	0
400	15	15
500	30	30
600	60	40
700	85	60

La acción sobre los materiales se resume en una pérdida de capacidad resistente y en una disminución del módulo de elasticidad.

La Tabla 2 indica la pérdida de resistencia a tracción del acero de la armadura (f_{yk}) de un hormigón armado y de la resistencia a compresión del propio hormigón con árido silíceo (f_{ck}) en función de la temperatura alcanzada por el material.

La Tabla 3 recoge la disminución, en tanto por ciento, del Módulo de Elasticidad del acero de las armaduras y del hormigón con árido silíceo en función de la temperatura alcanzada por el material.

Tabla 3.- Disminución del Módulo de Elasticidad - Temperatura.¹²

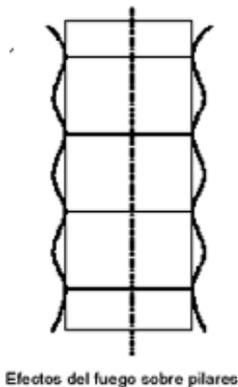
¹⁰ Buron.M,M.2005.

¹¹ Buron.M,M.2005.

¹² Buron.M,M.2005.

Temperatura T (°C)	Disminución del Módulo de Elasticidad (%)	
	Acero armadura	Hormigón
20	0	0
400	30	75
500	40	83
600	70	90
700	87	90

Un incendio puede causar daños muy diferentes en una estructura oscilando desde una simple mancha causada por el humo y el calor, hasta la total destrucción por combustión o pérdida de resistencia.



Algunos de los factores que influyen en el nivel de daños que se puedan alcanzar por la acción del fuego son:

- La naturaleza de los materiales utilizados.
- El efecto de las corrientes de aire.
- Presencia de cenizas, que pueden ayudar a reducir la combustión.
- Efectos causados por enfriamientos y contracciones repentinos por lanzamiento de agua.

Durante el desarrollo de un incendio se presentan: una fase de iniciación con incremento progresivo y acelerado de la temperatura. Luego el fuego entra en su plenitud, estabilizándose; la temperatura máxima alcanzada y la duración de esta fase dependen de la cantidad y tipo de materiales de combustión presentes. La última fase consistente en la disminución de la intensidad de las temperaturas, debido al agotamiento del material combustible.

Al someter al hormigón a la acción del fuego, sus componentes sufren severas modificaciones:

Buron.M,M.2005.

Acción del fuego sobre el hormigón¹³.

Temperatura del incendio	Acción sobre la estructura del hormigón	Efectos
100 °C	Se evapora el agua libre de los capilares	El calor latente de vaporización retarda la elevación de t°.
200-300 °C	Se completa la pérdida de agua libre y parte de la absorbida sin alterar la estructura del cemento	El calor latente de vaporización retarda la elevación de t°.
300-400 °C	Se produce la pérdida de agua de gel del cemento pérdida de hidroxidos del silicato calcico	Disminución apreciable de la resistencia y aparición de fisuración superficial
450 °C	Parte del hidroxido Calcico se transforma en cal libre CaO+H2O (Ox. Calcicos)	Continúa la disminución de resistencia y fisuración sup. en el hormigón
600 °C	Los aridos se expanden fuertemente con ≠ intensidad	Generación de tensiones internas que empieza a disgregar el hormigón

En el proceso de incremento de temperatura repercute en el hormigón en un fenómeno de pérdida de resistencia, el cual va acompañado de una serie de cambios de coloración.

Dicho cambio persiste en el tiempo después del incendio durante días, incluso llegar hasta varios meses.

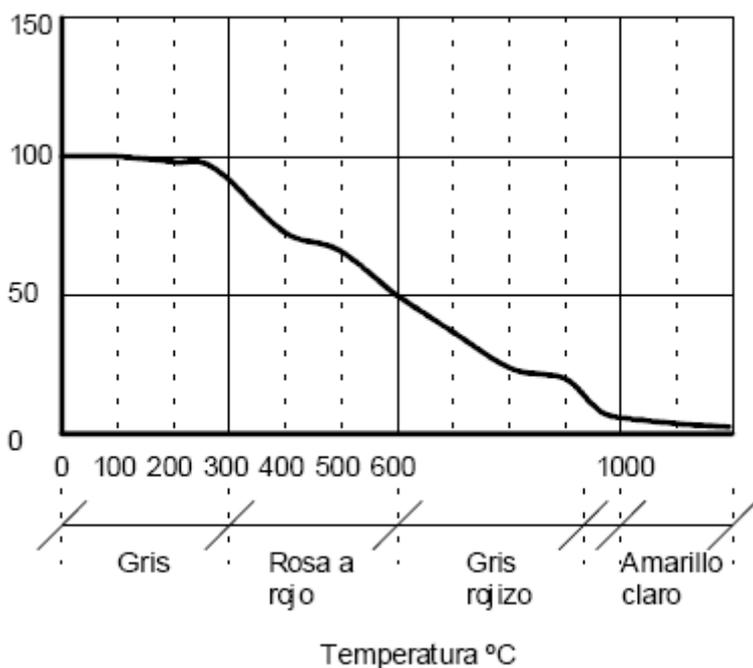
Influencia de la temperatura en la coloración y resistencia del hormigón.¹⁴

Temperatura	Coloración	Efectos
0-300 °C	Gris	Descenso de la resistencia del 10%
300-600 °C	Rosa a Rojo	Pérdida de resistencia en 50% Modulo de elasticidad -80%
600-950 °C	Gris con puntos rojizos	Resistencia muy reducida
950-1000 °C	Amarillo anaranjado	Inicio de la sinterización
1000-1200 °C	Amarillo claro	Desintegración Resistencias nulas

¹³ Patologías en puentes.2005.

¹⁴ Patologías en puentes.2005.

Influencia de la temperatura sobre la resistencia a compresión del hormigón.¹⁵



Para mejorar la resistencia al fuego, se debe:

- Utilizar áridos de bajo coeficiente de dilatación térmica. (Calizo, árido ligero, etc.)
- Seleccionar una buena granulometría.
- Tener presente que se debe hacer una buena compactación.
- Baja conductividad térmica.
- Se comportan mejor los hormigones con alta resistencia a tracción.
- Humedad baja.
- La utilización de cementos de escorias o puzolánicos (fijan la cal libre - hidróxido cálcico).

Se ha demostrado que al ser baja la conductividad térmica del hormigón el recubrimiento es una efectiva capa protectora de las armaduras. Así, un recubrimiento de 2 cm. De espesor puede brindar 30 minutos de protección. Este recubrimiento debe permitir que las armaduras no alcancen la temperatura crítica del acero.

2.2.6.-PATOLOGIAS POR ACCIONES SISMICAS.

La principal causa de daños ocasionados por acciones sísmicas es una sacudida que provoca la caída de numerosos objetos y el derrumbamiento de edificios. El colapso de edificios provoca sus

¹⁵ Patologías en puentes.2005.

habitantes queden atrapados entre los escombros, siendo frecuente que perezcan por aplastamiento. Por otra parte la caída de objetos puede causar numerosas heridas, llegando incluso a la muerte si se trata de objetos muy pesados.

Es necesario conocer los aspectos más relevantes de los terremotos sobre las personas, las construcciones y el terreno, para poder preverlos, de una forma apropiada.

Algunos de los efectos que producen los terremotos y que hay que tener en cuenta son:

2.2.6.1.-EFECTOS SOBRE CONSTRUCCIONES.

Daños ligeros:

- Fisuras en muros, juntas, etc.
- Caída de trozos de revestimiento, aleros, chimeneas, etc.
- Caída de cristales rotos y aplacados cerámicos, especialmente peligrosos cuando caen desde los pisos altos.
- Caída de muebles, objetos colgados, etc.

Daños graves:

- Colapso de construcciones, sobre todo aquellas de mala calidad y sin características sismorresistentes.
- Incendios producidos por cortocircuitos, escapes de gas y materias inflamables.
- Destrucciones y derrumbamiento parciales de edificaciones (caídas de techos, fachadas, tabiques, balcones, muros exteriores, etc.), grietas en los muros, etc.
- Inundaciones por roturas de embalses, conducciones de agua, etc.

2.2.6.2.-DESCRIPCION Y ORIGEN DE LO DAÑOS.

Podemos entender por daños directos los que ocurren físicamente en las estructuras durante los terremotos. Así mismo, se dan otros daños indirectos: producidos por fuego, liberación de materias peligrosas, inundaciones por fallo de diques o presas, desprendimientos de objetos o de elementos estructurales o no estructurales, etc.

Dentro de los daños directos existen diversos grados hasta llegar al colapso de la estructura. Si bien un cúmulo de daños leves a moderados puede llevar a la consideración de ruina económica del edificio, procediendo a su demolición.

En estructuras de hormigón armado, las lesiones que podríamos considerar como leves o de grado medio, previas al colapso parcial o total de la estructura, serían:

Daños en elementos verticales.

- Deslizamiento o punzonamiento de los pilares en los capiteles de las estructuras reticulares provocadas por tensión diagonal.

- Agrietamiento inclinado de los pilares, provocado por tensión diagonal.

Las grietas pueden orientarse en una dirección, o en dos formando una cruz, por efecto de la inversión de esfuerzos.

- Agrietamiento inclinado de los pilares en una sola dirección, sobretodo en estructuras que sufren asentamientos diferenciales antes o durante el terremoto.

- Desprendimiento y desmoronamiento del hormigón en los pilares, así como pandeo del acero de refuerzo.

- Agrietamientos diagonales en cruz en muros de carga, provocados por tensión diagonal al haber exceso de carga en ambos sentidos.



Detalle de daño en un pilar.

Daños en elementos horizontales.

- Desmoronamiento inclinado de las vigas en la proximidad de sus extremos provocado por la tensión diagonal. Pueden aparecer dos grietas formando una cruz como consecuencia de la inversión de esfuerzos.

- Desprendimiento y desmoronamiento del hormigón en la parte inferior de las vigas cerca de la unión con los pilares, debido al exceso de compresión por flexión y al pandeo del acero de refuerzo del lecho inferior de las vigas. En algunos casos puede existir el mismo tipo de daño en la parte superior e inferior de las vigas causado por inversión de momentos flectores.

ORIGEN.

Los daños producidos por los terremotos y su magnitud dependen de varios factores,

como son:

- La fuerza del movimiento.
- La duración de la sacudida.
- Tipo de suelo, ya que modifica las características de las sacudidas.
- Tipología de las construcciones.
- Cimentación inadecuada, insuficiente o mal arriostrada.
- Terrenos con pendiente pronunciada.
- Falta de separación entre edificios colindantes.

2.2.6.3.-EFECTOS SOBRE EL TERRENO.

Muchos de estos efectos son los causantes a su vez de destrozos en las construcciones y en las infraestructuras.

- Grietas en el suelo y cambios en el caudal de manantiales y pozos.
- Asentamientos diferenciales del suelo, fundamentalmente en terrenos sueltos y con gran cantidad de agua.
- Licuefacción de terrenos saturados de agua, sobre todo cuando la sacudida tiene gran duración.
- Desplazamiento del terreno a lo largo de la falla.
- Maremotos o "Tsunamis": olas que se producen con grandes terremotos de epicentro marino y que alcanzan una mayor altura al llegar a las costas.

Son varios factores los que influyen en los daños causados por un terremoto tales como:

1.- La fuerza del movimiento. Es mayor cuanto mayor sea la magnitud del terreno y cuanto más cerca se esté del foco sísmico. Esta fuerza decrece a medida que el lugar está más lejos del epicentro.

2.- La duración de la sacudida. Los daños son mayores cuanto más dure la sacudida. Los terremotos de mayor magnitud producen sacudidas de mayor duración.

3.- El tipo de suelo. Modifica las características de las sacudidas sísmicas. El movimiento del terreno es mayor cuanto más blando sea éste, más gruesa sea la capa del suelo y sobre todo, cuando dicha capa está saturada de agua.

4.- Tipo de construcciones. Algunos tipos de construcciones no son suficientemente resistentes ante los movimientos laterales a los que les somete un terremoto. Esto se agrava cuando la

estructura de la construcción está degradada, su cimentación es mala o se han cometido defectos graves en la edificación.

Otro factores que pueden influir en los daños son:

- Cimentación inadecuada al tipo de terreno, porque sea insuficiente o este mal enlazada entre sí.
- La falta de separación entre edificios, ya que con el movimiento se golpean entre ellos (fenómeno "aplauzo"), fenómeno que se ve incrementado con la altura de los mismos y la diferencia de alturas entre edificios colindantes.
- La pendiente del terreno, sobre todo para aquellas construcciones situadas en laderas con gran pendiente o en terrenos poco firmes.

2.2.6.4.-PELIGROSIDAD SISMICA SEGÚN EL LUGAR.

El movimiento del terreno se produce debido a la llegada de ondas sísmicas que se propagan desde el foco sísmico a través de la roca hasta el lugar. En él, la composición de la capa más superficial influye decisivamente en las características finales de la sacudida sísmica.

El foco o hipocentro es el lugar físico donde se produce. Puede ser superficial (entre 0 y 70 Km de profundidad), intermedio (entre 70 y 300 Km) o profundo (por debajo de los 300 Km).

El epicentro es el lugar de la superficie que está directamente encima de donde se ha producido la liberación de energía elástica. Los terremotos más destructivos son los más superficiales, especialmente si ocurren debajo de una zona habitada.

La peligrosidad sísmica varía en una región, dependiendo de la cercanía a las fallas activas, del tipo de terreno y de lo propenso que sea éste a desestabilizarse. Los daños se concentran en áreas donde existen suelos poco firmes y donde hay zonas deslizantes.

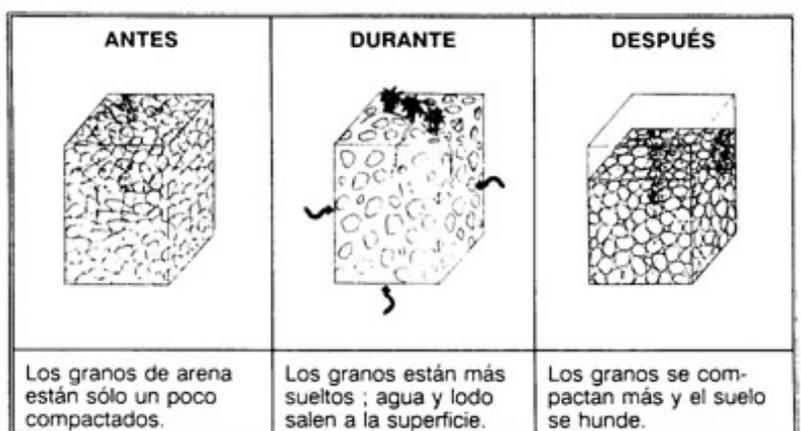
TIPO DE TERRENO	ACCION SOBRE LA VIBRACION	EFFECTOS PROBABLES
Roca estable	No se incrementa	El terreno se mantiene firme
Roca no estable	Apenas se incrementa	Puede haber desprendimiento
Suelo no consolidado	Se incrementa	El suelo pierde su firmeza mientras mas agua contenga
Suelos blandos o rellenos	Se incrementa mucho	Asentamientos del suelo deslizamientos, posible licuefaccion

2.2.6.5.-LICUEFACCIÓN DEL TERRENO.

Si un movimiento sísmico origina sorpresas no son menos las que pueden ocasionar algunos tipos de terrenos, como los licuables, (aquellos que ante esfuerzos vibratorios pierden su resistencia al esfuerzo cortante), que durante el terremoto se transforman en una especie de barro fluido que provoca el hundimiento de edificios, muros de embalses, carreteras etc., debido a que se quedan sin base de apoyo.

La licuefacción es un fenómeno que se producen en terrenos blandos saturados de agua durante sacudidas sísmicas fuertes y largas. El suelo se comporta y fluye como líquido debido a que las vibraciones sísmicas aplican fuerzas al fluido que rellena los huecos entre los granos de arena, causando la salida de agua y fango a la superficie durante la sacudida. Esto compacta finalmente los granos de arena y provoca asentamientos del terreno o deslizamiento, al producirse una sensible pérdida de resistencia en los estratos afectados. La licuefacción ocurre particularmente cuando el nivel del agua subterránea es superficial y en zonas como lechos fluviales, estuarios, rellenos artificiales, etc. Las vibraciones también pueden producir asientos en rellenos y suelos granulares flojos.

Esquema licuefacción.¹⁶



Desplazamiento de las tierras.

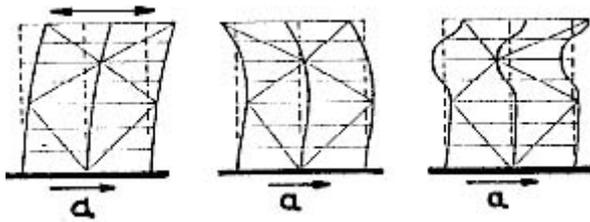
Es conveniente no confundir una licuefacción con un desplazamiento de tierras, siendo éste más frecuente en terrenos que forman taludes, cuando existen muros de contención.

En los rellenos flojos o insuficientemente compactados. Después de un terremoto, suelen producirse asientos que afectan a las edificaciones existentes, surgiendo fisuras y grietas en ellas o arrastrándolas pendiente abajo.

¹⁶ Patologías por acciones sísmicas.2005

2.2.6.6.-MANIFESTACIÓN DEL SISMO EN UNA EDIFICACIÓN.

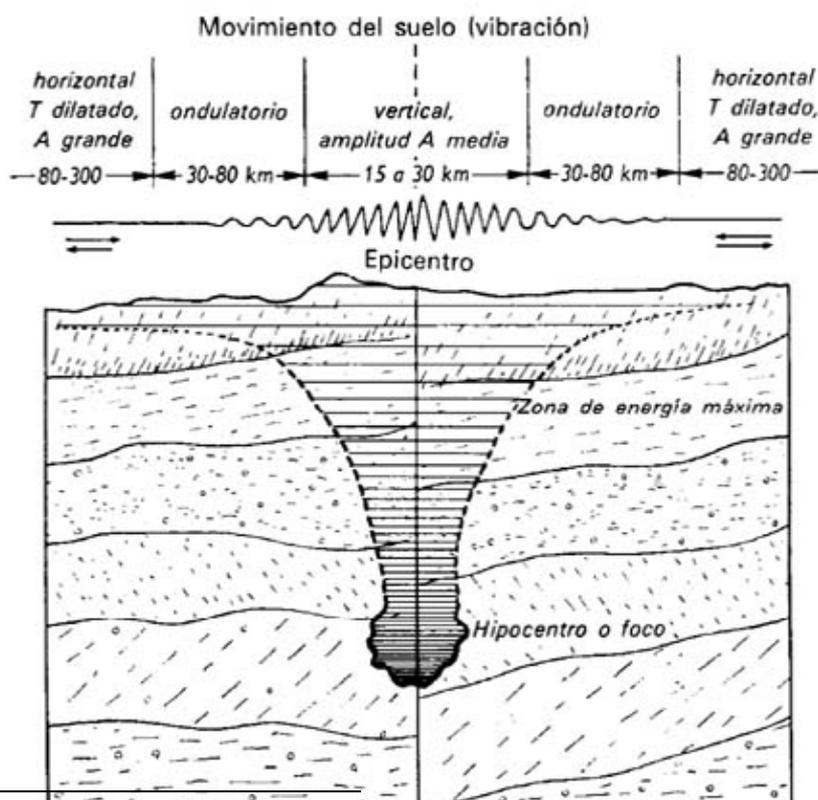
El sismo se manifiesta por vibraciones en cualquier sentido y se traduce a efecto de cálculo en un empuje horizontal por plantas. También pueden existir vibraciones verticales en la estructura que hacen que se produzcan trepidaciones, especialmente cerca del epicentro, estos terremotos son conocidos como terremotos burbujeantes.



El movimiento brusco del suelo, se transmite al edificio a través de la cimentación dando origen a fuerzas de inercia que se oponen a este movimiento. Estas son las fuerzas sísmicas que actúan sobre el edificio.

Si el edificio está lejos del epicentro sufre casi en su totalidad movimientos horizontales, y si está cerca en mayor cuantía vibraciones verticales (terremotos burbujeantes) y también horizontales.

Probable distribución del movimiento vibratorio dependiendo de la magnitud y profundidad del hipocentro.¹⁷



¹⁷ Daños en edificación debido a terremotos.2001.

Los efectos del sismo pueden incrementarse debido a la resonancia, pudiendo decirse que un movimiento sísmico de baja intensidad y larga duración es a veces más peligroso que otro de intensidad alta y corta duración, pues el primero está más expuesto a entrar en resonancia.

Las características vibratorias pueden cambiar en el transcurso del sismo, quedando interrumpida la resonancia.

El empuje de sismo afecta de la siguiente forma:

- Aumenta considerablemente la cuantía de la armadura superior en vigas y viguetas al incrementarse el momento en éstas, siendo más acentuado en las plantas inferiores.
- Aumenta el cortante en vigas y viguetas.
- Incrementa el momento, cortante y axial en pilares.
- Aumenta las cargas en cimentación.

2.2.6.7.-PREVENCIÓN DE DAÑOS.

Concepto de ductilidad.

La ductilidad es una característica de las estructuras por la que éstas son capaces de deformarse en mayor o menor grado. Si dotamos de suficiente ductilidad a una estructura, ésta se deformará inelásticamente sin llegar al colapso y sin producirse una pérdida substancial de resistencia. Lo que supondría que la estructura habrá absorbido así la diferencia entre la demanda de resistencia ante un sismo real y la de proyecto del edificio.

Las estructuras de hormigón armado es de las tipologías estructurales que mayores patologías presentan, además de ser las de uso más generalizado en edificación.

La ductilidad estructural conseguida depende del armado de los elementos que componen la estructura, de su cuantía y de la propia ductilidad del acero de armar. El hormigón adquiere una cierta ductilidad cuando se confina mediante un refuerzo transversal dispuesto en forma de estribos.

PREVENCIÓN DE DAÑOS. CONCEPTOS GENERALES.

Para reducir la vulnerabilidad de los edificios de hormigón armado ante solicitaciones de carácter sísmico, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos que podemos agrupar en:

1. Plantear **tipologías edificatorias adecuadas**, en función de la zona sísmica en la que se va a construir, valorando aspectos como: altura, edificios colindantes, distribución de masas, simetría, continuidad de la estructura, etc.

2. Utilizar **sistemas estructurales adecuados** para las zonas sísmicas, evitando errores de diseño.
- Emplear materiales de construcción adecuados, tales como aceros de alta ductilidad y hormigones de buena calidad, y una correcta puesta en obra.
 - Soluciones adecuadas de encuentros y uniones para el sistema estructural.

2.2.6.8.- SISTEMAS ESTRUCTURALES.

Edificios porticados. Barras conectadas en los nudos cuyos elementos estructurales han de cumplir condiciones referentes a la cuantía mínima del acero de refuerzo, longitudinal y transversal, así como ciertas relaciones mínimas ancho-espesor para los mismos.

- Englobados en este punto están los edificios porticados con vigas planas que no son eficientes frente a acciones sísmicas.

- Los edificios porticados prefabricados con elementos de barras no son adecuados en un diseño sismorresistentes, dada la dificultad para asegurar la resistencia y ductilidad en las conexiones entre vigas y pilares. En todo caso, de utilizarse sería imprescindible su adecuado arriostramiento mediante elementos de acero o bien muros de cortante *in situ*.

- Los edificios con pilares y losas tienen un comportamiento sísmico inadecuado.

Esta estructura presenta dificultades para transmitir las tensiones tangenciales entre pilares y losas, lo que puede llevar a un fallo frágil. Aún sin llegar al colapso, los desplazamientos horizontales provocados por las acciones sísmicas son excesivos.

- Cuando se trata de edificios de pilares y forjados reticulares, la vulnerabilidad sísmica es muy alta. Tienen tendencia a la aparición de fenómenos de punzonamiento de los forjados como consecuencia de su alta flexibilidad lateral, esto se traduciría en grandes desplazamientos sísmicos en la estructura.

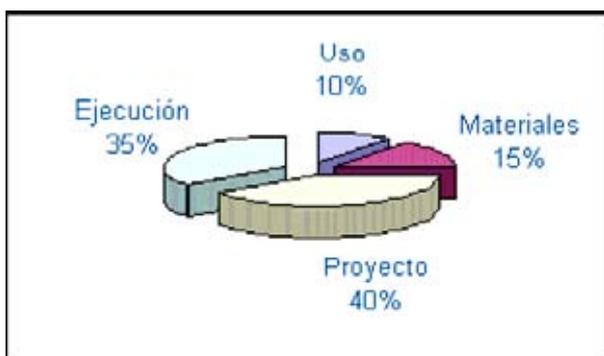
Edificios apantallados. Los muros de hormigón armado ofrecen una resistencia a cortante o arriostramiento frente a las sollicitaciones horizontales derivadas de las acciones sísmicas.

Edificios porticados con muros. Los pórticos de hormigón armado colaboran con los muros de cortante o arriostramiento para proporcionar la resistencia lateral necesaria, lo que minimiza los desplazamientos horizontales.

Edificios con núcleo central. El edificio se proyecta con un concepto global de la estructura de forma que las instalaciones y comunicaciones generales se concentran en un punto –núcleo central- que se constituye en elemento rigidizador del conjunto, reduciendo los desplazamientos laterales. Es importante disponer el o los núcleos reduciendo al mínimo la excentricidad, para evitar la torsión global en la estructura.

2.2.7.-PATOLOGIAS POR DEFECTOS DE EJECUCION.

Diversos estudios llevados a cabo por diferentes entidades del sector de la edificación, considerando como factor de estudio los problemas que surgen en los edificios, concluyen con que dichos daños se deben en mayor medida a defectos durante las fases de proyecto y ejecución.



La principal causa de los daños por una ejecución defectuosa podría ser la falta de cualificación del personal que interviene en la fase de construcción, por desconocimiento, negligencia, etc., así como la falta de control y supervisión por parte de la dirección de obra. La escasez de mano de obra especializada y el cumplimiento de plazos demasiado exigentes, son otros factores que afectan de forma negativa en el resultado final de las obras, con consecuencias, en ocasiones, graves.

2.2.7.1.-DESCRIPCION Y ORIGEN DE LOS DAÑOS.

Los daños por defectos en la puesta en obra pueden originarse por:

- Errores de replanteo.
- Modificaciones del proyecto.
- Incumplimiento de normativa.
- Falta de definición del proyecto.
- Modificaciones en los materiales.

Se analizan a continuación los daños por una ejecución deficiente, se agruparan según fases de construcción para un mejor entendimiento.

2.2.7.1.1.-Replanteo.

-Pilares en posición incorrecta. Puede ser que se coloquen los pilares “girados” o se coloque la armadura en las caras opuestas al diseño. Conllevaría una modificación de las inercias y de los diagramas de momentos. El pilar tendría una resistencia inferior a la prevista.

-Falta de alineación vertical. Genera excentricidades no contempladas en proyecto.

También pueden darse cuando la posición del pilar queda fuera del baricentro del encepado del que arranca.

2.2.7.1.2.-Fase de encofrado y colocación de armaduras.

-Armadura de espera de los pilares insuficiente: de esta forma no se ancla el pilar con el forjado y la armadura se desliza en el hormigón, apareciendo una fisura en el encuentro viga-pilar y disminuyendo la capacidad mecánica de la sección. El corte de la armadura en pilares extremos expondría a éstas a la corrosión.

-Exceso o insuficiente recubrimiento de armadura de pilares o vigas. En caso de ser excesivo el recubrimiento, el hormigón sufrirá mayores retracciones, pudiendo llegar, en ocasiones, a romper el hormigón, penetrando agua y/o humedad e iniciar la corrosión de la armadura. La falta de recubrimiento expone a la armadura a la acción de los agentes agresivos del ambiente, al agua, etc.



-Omisión de separadores en vigas o viguetas. Al no colocarse calzos para separar la armadura del encofrado se disminuye la adherencia del hormigón con el acero además de exponer a éste a la corrosión.

-Falta de patillas o insuficiente longitud de anclaje en vigas extremas. Al deslizarse la barra en el hormigón puede aparecer una pequeña fisura vertical en la cara superior de la viga, cerca del encuentro con el pilar. Existe peligro de estabilidad del elemento al no colaborar el acero y el hormigón.

-Separación excesiva entre cercos. En el caso de pilares provocaría el pandeo de la armadura longitudinal, disminuiría la resistencia a cortante y a torsión así como la resistencia del hormigón, por dejar de estar confinado por los estribos, en esa zona, sufriendo mayores deformaciones y apareciendo fisuras verticales a centro de cara.

-Separación insuficiente entre barras. La armadura demasiado junta provoca un hormigonado deficiente ya que no pasa el hormigón, dejando oquedades que hacen disminuir la resistencia del elemento que se trate.

2.2.7.1.3.-Hormigonado.

-Hormigón de mala calidad (por ejemplo, muy compacto, no permitiendo el paso entre armaduras). Se producen oquedades en el interior del elemento.

Dependiendo de la densidad del armado pueden llegar a quedar zonas sin hormigonar.

-Desplazamiento o caída de la armadura durante el hormigonado. La caída de negativos es frecuente durante el hormigonado, produciéndose fisuras más o menos importantes.

-Hormigón defectuoso: empleo de aditivos, adiciones o áridos perjudiciales, exceso de agua, etc. Repercute en la falta de adherencia, resistencia, facilitan la corrosión de la armadura, etc.

-Vibrado insuficiente. Se producen oquedades o coqueras en el hormigón. La falta de adherencia entre armadura y hormigón incide en la resistencia, deformación y fisuración (en algunos casos, de viguetas in situ o armada, puede llegar a provocar la rotura del forjado). También facilita la entrada de agua y humedad.

En la siguiente figura se pueden apreciar coqueras.



-Curado defectuoso del hormigón o en condiciones climatológicas desfavorables, provocando fisuras y falta de adherencia así como falta de resistencia. También es perjudicial el empleo de aguas agresivas y marinas.

-Desencofrado y descimbrado inadecuados. Cuando es prematuro se producen mayores deformaciones (flecha instantánea y diferida), si el orden no es correcto se producen fisuras, al trabajar de forma incorrecta.

-Falta de material de protección o de recubrimiento del acero de las estructuras metálicas frente a la corrosión.

2.2.7.1.4.-Instalaciones / Acabados.

-Paso de instalaciones por lugares inadecuados. En ocasiones se perforan elementos, tales como vigas o viguetas, para colocar bajantes, afectando tanto al hormigón como a la armadura, lo que les confiere menor resistencia, mayores deformaciones y una redistribución de esfuerzos.

-En las obras de acabado de la construcción prevista pueden darse actuaciones defectuosas que ocasionan daños en los elementos estructurales, por ejemplo en la colocación de la carpintería o persianas, etc.

2.2.8.-SINTOMATOLOGIA EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.

Es el conjunto de los síntomas que puede presentar una estructura y que pueden ser indicativos de una falla, tanto en la seguridad como en su durabilidad.

Las estructuras de hormigón armado pueden presentar numerosos tipos de problemas, que muchas veces rebasan los simples límites de las fallas resistentes. Así fenómenos como la corrosión o la desagregación química pueden ser incluso mas peligrosos y difíciles de reparar que un fallo en la armadura, que normalmente puede parecer mas grave.

En las distintas patologías de estructuras de hormigón armado tenemos diversos fenómenos a considerar, algunos son los siguientes:

- Fisuraciones.
- Hinchazones.
- Desagregaciones.
- Disgregaciones.
- Cambios de color.
- Eflorerescencias.

2.2.8.1.-FISURACION.

La fisuración se produce siempre que la tensión de tracción a la que el hormigón este sometido es superior a su resistencia a tracción. La fisuración es un fenómeno donde se produce rotura en la masa de hormigón q se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal.

Clasificación:

- Microfisuras: $e < 0.05\text{mm}$.- → En general carecen de importancia.
- Fisuras: $0.1 < e < 0.2\text{mm}$.- → En general son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos, en los que pueden favorecer la corrosión.
- Macrofisuras: $e > 0.2\text{mm}$.- → Este tipo de fisuración puede tener repercusiones estructurales de gran importancia.

Causas:

- Curado deficiente.
- Retracción.
- Entumecimiento.
- Variaciones térmicas. Por problemas del hormigón.
- Ataque químico.

- Solicitaciones excesivas.
- Errores de proyecto. Por problemas de proyecto o de ejecución del hormigón.
- Errores de ejecución.
- Asientos.

En cuanto a su comportamiento podemos hablar de:

-Fisuras vivas: Son aquellas que continúan en movimiento, barriéndose o cerrándose.

-Fisuras muertas: Aquellas que están ya estabilizadas en su estado final.

2.2.8.1.1.-FISURAS DEBIDAS A PROBLEMAS DEL PROPIO HORMIGON.

Producidas por problemas intrínsecos del propio hormigón, especialmente ligadas al proceso de fraguado.

Pueden estar ligadas a defectos de fabricación o de puesta en obra del hormigón, pero no son estructurales.

2.2.8.1.2.-FISURAS EN ESTADO PLASTICO.

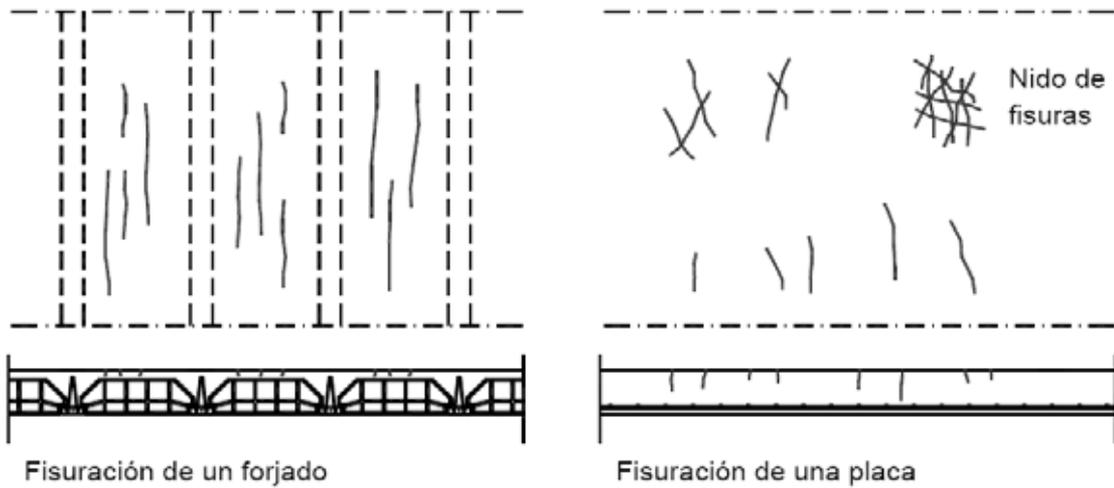
Se producen en los primeros momentos de la puesta en obra del hormigón, mientras todavía esta en estado plástico.

Causas:

- Afogarado.
- Retracción.
- Entumecimiento.
- Incorrectas puestas en obra en estado plástico.

2.2.8.1.3.-FISURAS DE AFOGARADO.

- Se producen por desecación superficial del hormigón en estado plástico.
- Causas principales: Aire seco y/o soleamiento.
- Aparecen en las primeras horas del hormigonado y generalmente formando grupos.
- Algunas veces se forman nidos de fisuras alrededor de zonas con concentraciones puntuales de cemento.
- Fisuras pequeñas (20-40mm).

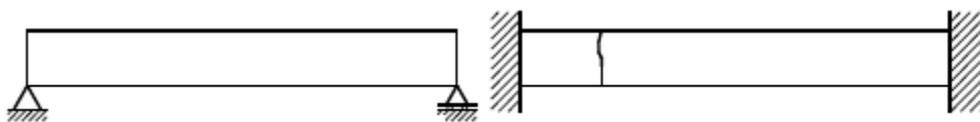


Estas fisuras se pueden evitar con un buen curado.

En general las fisuras de afogado carecen de importancia estructural y solo han de tenerse en cuenta si pueden facilitar la corrosión de las armaduras o por problemas estéticos.

2.2.8.1.4.-FISURAS DE RETRACCIÓN HIDRÁULICA.

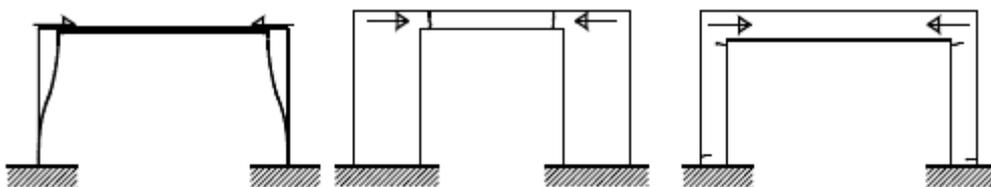
El hormigón al fraguar disminuye de volumen. Si la estructura tiene su disminución de dimensiones coartada puede romperse. La retracción hidráulica esta producida por reacciones químicas y por la reducción de humedad.



Movimiento libre no se fisura.

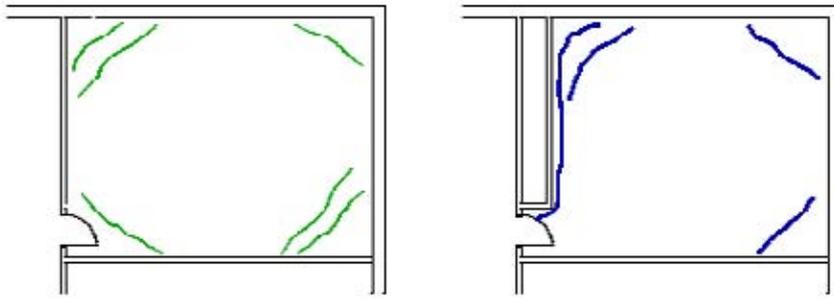
Movimiento coartado se puede fisurar.

La estructura se romperá por la zona mas débil.



Pilares de mucha rigidez:
rompe la viga por tracción.

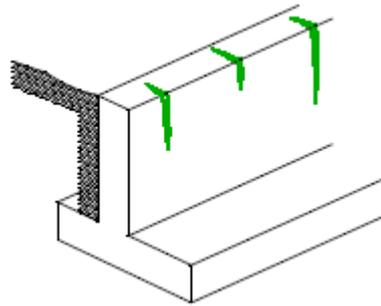
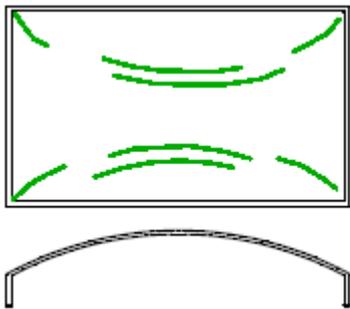
Pilares de poca rigidez: rompen los
pilares por flexión.



Fisuras de retracción en placas.

Fisuras de retracción en laminas.

Fisuras de retracción en muros.



Otras fisuras de retracción.

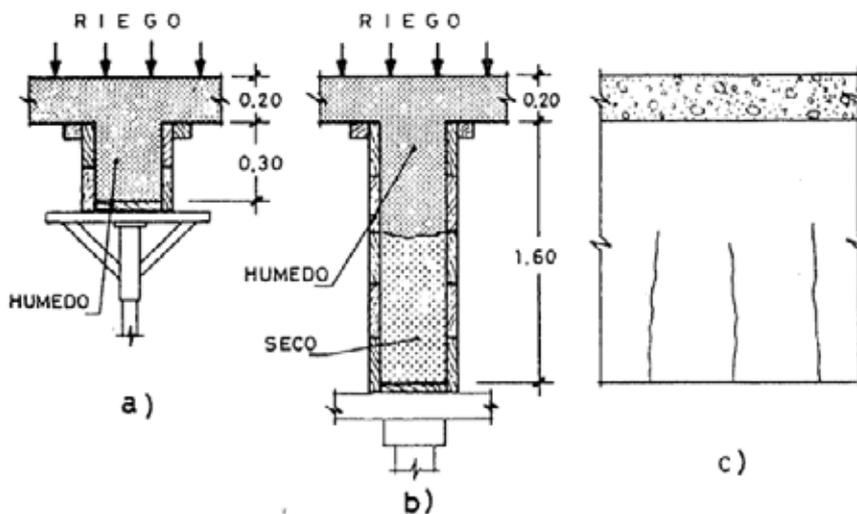


Segregación del hormigón.



Por diferencia de humedad.

Terreno húmedo.



Características de las fisuras de retracción hidráulica:

- Aparición retardada, meses y a veces años.
- Más frecuentes e importantes en elementos situados en zonas secas y soleadas. A veces es muy difícil de distinguir su origen por retracción o por efectos térmicos.
- Son regulares, con anchura prácticamente constante y normalmente se estabilizan muy rápidamente, por lo que cuando el técnico interviene suelen ser muertas.
- Su forma depende del armado del elemento.
 Cuantías altas —► Fisuras finas y juntas.
 Cuantías bajas —► Fisuras gruesas y separadas.
- No suelen tener riesgo estructural, pero sí de durabilidad.

2.2.8.1.5.-FISURAS POR ENTUMECIMIENTO.

El entumecimiento es el efecto contrario a la retracción. Así como el hormigón que fragua en el aire disminuye de volumen (retracción), el hormigón que fragua sumergido en agua aumenta de volumen (entumecimiento). Los efectos son similares pero contrarios a los de la retracción, pero en la práctica las patologías por entumecimiento son casi inexistentes.

2.2.8.1.6.-FISURAS DE ORIGEN TERMICO.

Se pueden producir por el gradiente de temperatura que se produce en el hormigón por su baja conductividad.

Solución: Un buen curado.

Otros efectos térmicos:

- Variaciones fuertes de temperatura.
- Focos puntuales de calor como chimeneas o calderas.
- Empujes producidos por congelación de agua, etc.

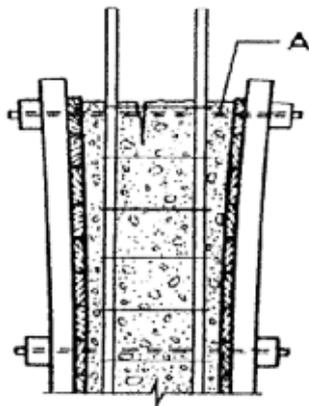
Su sintomatología es muy parecida a la de retracción, lo que a veces es muy difícil de distinguir.

2.2.8.1.7.-FISURAS DE EJECUCION EN ESTADO PLASTICO.

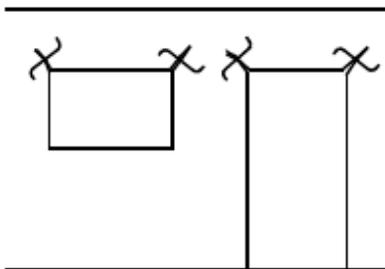
Son las fisuras que se producen en las primeras horas de vida del hormigón por asentamiento o deslizamiento del mismo. En general son fisuras poco importantes que sólo afectan a la estética de la estructura.

Los casos más frecuentes son:

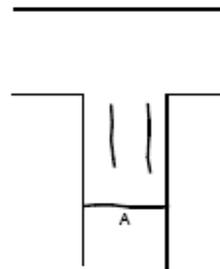
- Deslizamiento del hormigón en rampas o piezas inclinadas.
- Movimientos del encofrado.
- Desplazamientos en la armadura al picar o vibrar el hormigón.
- Asientos en el hormigón fresco impedidos parcialmente por un encofrado. Son frecuentes en huecos de muros hormigonados en una sola vez o en uniones viga-pilar o placa-muro si también se hormigonan conjuntamente. En todos estos casos debe esperarse una o dos horas con el hormigonado a nivel de la cara superior del hueco para permitir el asentamiento del hormigón fresco. También pueden ponerse en los huecos pequeñas armaduras que permitan anular las posibles fisuraciones en las esquinas.



Fisuras por movimiento de encofrado.



Huecos en muros.



Unión viga-pilar.

2.2.8.2.-FISURAS POR SOLICITACIONES EXCESIVAS.

Son las fisuras que causan la mayor alarma y en la mayoría de los casos las que corresponden a las patologías más graves, puesto que indican que el hormigón está alcanzando o ha sobrepasado su capacidad resistente.

Sin embargo la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante. Lo normal es que las piezas de hormigón se fisuren en estado de servicio y de hecho el estudio de las deformaciones en piezas flexadas de hormigón tiene dos estados que se diferencian por que la pieza pasa de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurada, sin que ello implique problemas patológicos.

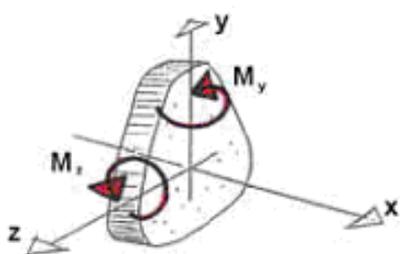
Por ello conviene estudiar la evolución de la fisuración de una pieza de hormigón para comprobar si corresponde o no a una situación de alarma.

Como en casi todo la experiencia y el ojo clínico son esenciales en un correcto diagnóstico. Pese a ello es conveniente un pequeño estudio del comportamiento normal de las distintas piezas de hormigón ante sollicitaciones excesivas, puesto que siempre nos dará una idea mas clara del tema.

2.2.8.2.1.-FISURAS POR FLECTOR.

La sollicitación flectora (momentos flectores M_y o M_z) se produce por las fuerzas perpendiculares a algún eje contenido en la sección y que no lo corten y momentos localizados que tengan la dirección de alguno de los ejes contenidos en la sección. Estos momentos, originan tensiones normales.

Sección tipo sometida a momentos flectores.



Esta sollicitación va ligada al concepto de deformación. Las deformaciones que se producen en los elementos estructurales, pueden provocar daños en otros elementos no estructurales.

En esta primera parte se dará a conocer la descripción y el origen de los daños.

CONCEPTOS.

Se dice que una sección está sometida a *flexión simple* cuando sobre ella actúa un momento flector pero no un esfuerzo axial. Las secciones de vigas se suelen calcular a flexión simple, ya que el axial que actúa sobre ellas es despreciable. El comportamiento de las piezas de hormigón que están sometidas a flexión simple dependerá de la cuantía mecánica de la armadura de tracción.

Si el esfuerzo cortante es nulo se dice además que la *flexión* es *pura*. Si el momento flector actúa en el plano de la sección, la sollicitación se llama *flexión recta*, si por el contrario, el momento no está en dicho plano o no es una sección simétrica por su geometría o armaduras, la flexión se llamará *esviada*.

En cambio una sección está sometida a *flexión compuesta* cuando sobre ella actúan un momento flector M y un esfuerzo axial N .

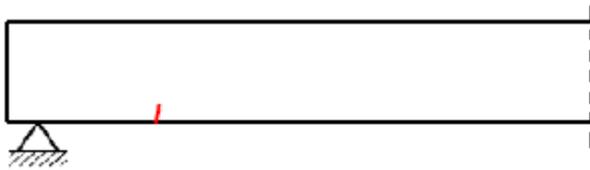
En este caso, según la forma de trabajo, podemos encontrarnos con tres situaciones:

- **tracción compuesta**, cuando todas las fibras de la sección están sometidas a una misma deformación de tracción o alargamiento.
- **flexión compuesta**, si en la sección hay fibras comprimidas y otras traccionadas.
- **compresión compuesta**, si todas las fibras de la sección están comprimidas.

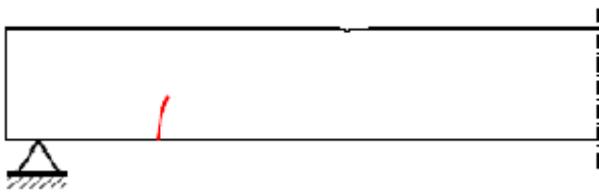
Generalmente los pilares están expuestos a *flexión compuesta*.

Vigas.

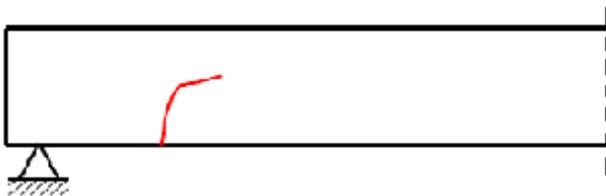
Fases del fisuramiento en una viga por momento flector.



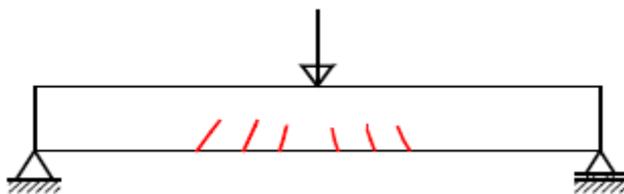
Se inicia en la fibra inferior.



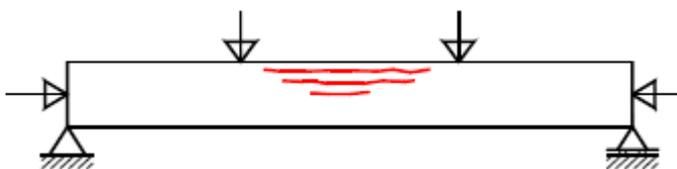
Continúa casi verticalmente.



Se curva al llegar a la fibra neutra.



Fisuras por flexión simple.



Fisuras por flexión compuesta.

Pilares.

Cuando un pilar está sometido a un momento flector superior al que es capaz de resistir, parte por flexión, siendo la fisura abierta por una cara y cerrándose a medida que se aleja de la zona de tracción. La fisura es fina, horizontal y puede aparecer en los extremos de los pilares (cabeza y base).

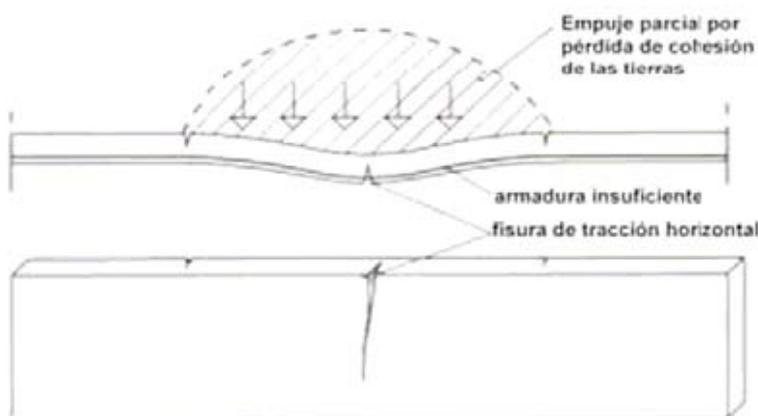
Fisuras por flexión compuesta.



Muros.

Cuando un muro de contención se calcula y se arma en ménsula y las tierras pierden su cohesión inicial en una zona soportada por el muro, si éste no tiene la armadura suficiente, debido a ese empuje parcial se produce una flexión que provoca una tracción horizontal originándose una fisura vertical, más abierta en la parte superior y que se va cerrando a medida que desciende (siendo más abierta en la parte exterior del muro, transversalmente).

Planta y alzado de muro sometido a flexión horizontal.¹⁸

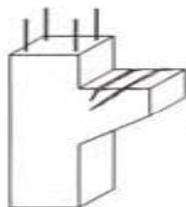


¹⁸ Daños a elementos estructurales por esfuerzo de flexión.2005.

Ménsulas.

En el caso de las ménsulas las fisuras que aparecen son abiertas y se van cerrando a medida que descienden.

Fisuras en ménsula debido a la flexión.



ORIGEN DE LOS DAÑOS.

A continuación se da a conocer, por tipología de elemento, algunos de los motivos por los cuales se producen las patologías por flexión anteriormente comentadas:

Vigas:

- Armadura insuficiente o mal situada (menor número de barras o de diámetro inferior).
- Omisión de patillas en vigas extremas o escasa longitud de anclaje.
- Sección insuficiente.
- Sobrecarga excesiva.
- Hormigón de menor resistencia.
- Desencofrado prematuro o incorrecto.
- Mayor luz de la considerada en cálculo.

Pilares:

- Hormigón y armadura insuficientes.
- Omisión de patillas en pilares extremos de última planta.
- Asiento en cimentación. Si se produce un asiento elevado en la cimentación puede originar en el pilar un momento mayor y de sentido contrario al que estaba sometido; al cambiar la ley de momentos se producen fisuras en su parte superior por el interior del pórtico.
- Mayores solicitaciones que las consideradas.
- Empuje horizontal en soportes extremos del pórtico, por la dilatación térmica del forjado (por falta de consideración de las acciones térmicas en fase de proyecto si no se han dispuesto juntas de dilatación, siendo éstas fisuras especialmente acusadas en pilares perimetrales).
- También puede estar motivada en algunos casos por la retracción del hormigón de los forjados de grandes superficies en fase de curado, si éste no ha sido debidamente ejecutado.
- Empuje horizontal de sismo no previsto.

- Hinchamiento del terreno por expansividad.

Muros:

- Cálculo y dimensionamiento incorrecto
- No prever flexión horizontal
- Cuantías geométricas muy bajas de la armadura longitudinal (exceso de hormigón, escasez de armadura).

Ménsulas:

- Armadura insuficiente.
- Longitud de anclaje escasa o mal situada.
- Carga excesiva.

2.2.8.2.2.-FISURAS POR CORTANTE.

Vigas.

El riesgo de las fisuras por cortante es más elevado cuanto menos armadura transversal exista en la pieza, con una cuantía más elevada se obtiene mayor tiempo de aviso y en ausencia de esta armadura la rotura será inmediata, por lo que se ha de tener muy en cuenta en aquellas piezas, como viguetas, nervios o losas, que no llevan esta disposición de armado.

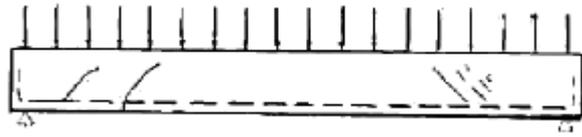
En las vigas de hormigón armado se distinguen dos tipos de esfuerzo cortante: el producido por excesiva tracción diagonal y el producido por una compresión excesiva de la biela:

-Las primeras fisuras tienen una inclinación entre 45° y 75° hacia el pilar, si no existe un momento flector apreciable o si existe, respectivamente. Son de ancho variable, mayor a nivel de la armadura de tracción (zona central) y que generalmente se cierra al llegar a la cabeza comprimida. Suelen presentarse varias fisuras paralelas pero con una separación apreciable.

- Las producidas por una compresión excesiva son fisuras de 45° con un ancho constante a lo largo de la misma, y en general muy fino (entre los 0,05 y 0,1 mm) que no suelen alcanzar los bordes superior e inferior de la pieza. Suelen aparecer varias paralelas.

Fisuras de la derecha: fisuras finas por compresión excesiva de la biela.

Fisuras de la izquierda: fisuras de cortante por excesiva tracción diagonal.



En el caso de cargas concentradas, debido a la excesiva tracción diagonal junto con el efecto local de la transmisión de la carga, aparecen fisuras de 45°, a nivel de armadura de tracción, que luego se curva dirigiéndose hacia la carga concentrada. Tienen un ancho máximo variable a nivel de armadura de tracción, reduciéndose al llegar a la cabeza comprimida.

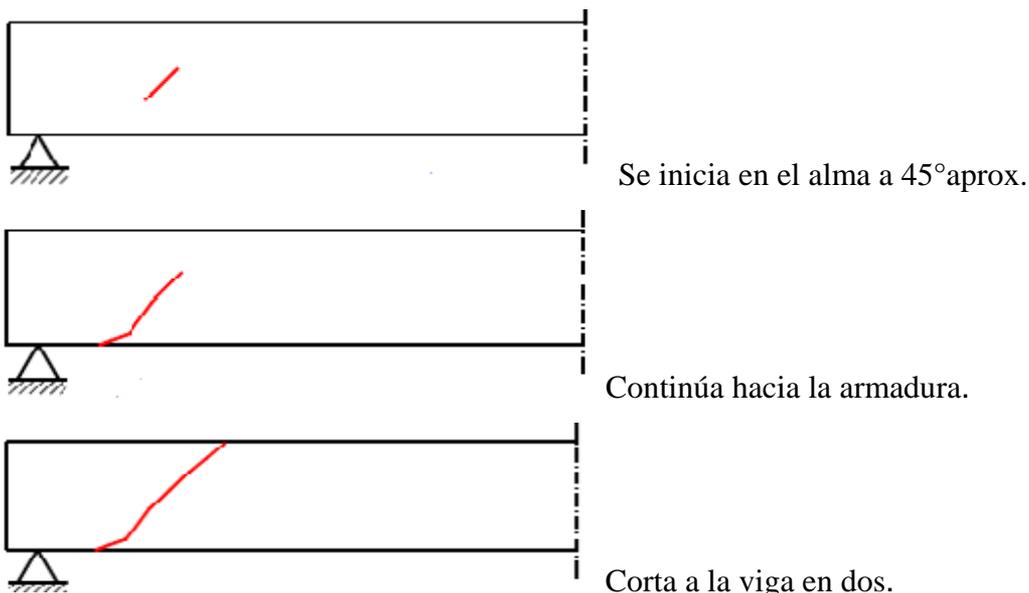
Las vigas que no disponen de cercos anclados suficientemente al tender a salirse del hormigón rompen la esquina de la pieza, apareciendo por tanto la esquina partida cerca del apoyo, siendo más acusado cuando todos los estribos se han anclado a la misma barra longitudinal.

En vigas planas, vigas cuyo canto es igual al espesor del forjado que adquieren su resistencia aumentando su anchura y cargándose de unas cuantías de acero muy elevadas, pueden aparecer fisuras longitudinales en la parte superior y en medio de las mismas.

Fases del fisuramiento en una viga por cortante.

- Comienzan en el alma, generalmente a 45°.
- Progresan hacia la armadura y luego hacia la carga.
- Dividen la pieza en dos, provocando el colapso.
- Evolucionan muy rápidamente y son muy peligrosas.
- Aparecen pocas y muchas veces una sola.
- Hay que evacuar inmediatamente el edificio, apuntalar y reforzar.

Fases del fisuramiento por cortante.



Fisuras a cortante en vigas.



En general, el origen de la insuficiente resistencia a cortante en las vigas puede ser:

- Colocación de estribos de menor diámetro y a mayores separaciones de las necesarias.
- Ejecución de estribos de dos ramas cuando deberían ser de cuatro.
- Colocación de cercos sin cerrar o con escasa longitud de anclaje.
- Viga de menor dimensión que la indicada.
- Hormigón de menor resistencia que el estimado en los cálculos.
- Aplicación de una sobrecarga mayor a la estructura por cambio de uso del edificio.
- Cálculo erróneo.

Pilares.

Las fisuras comienzan en el centro de la pieza, progresa por sus dos extremos llegando a unir el apoyo con la carga, dividiendo en dos partes el elemento (puede llegar a ser un proceso instantáneo, por lo que es muy peligroso).

No es frecuente. En algunos casos los pilares están sometidos a tensiones tangenciales apareciendo fisuras inclinadas, con tendencia a los 45° , en las dos caras opuestas, desplazándose una parte del pilar sobre la otra cuando el estado es muy avanzado.

En casos muy aislados, las fisuras se manifiestan con rotura inclinada con aproximación a los 60° , en hormigones muy secos con resistencias muy altas.

En terrenos con mucha pendiente en los que se producen deslizamientos debido al desplazamiento de las zapatas y por tanto de los pilares, se producen fuertes momentos y cortantes, produciéndose la rotura, con una inclinación aproximada de 55° , debiendo solucionarlo cuanto antes para frenar el avance de los daños que incluso puede dar lugar a la ruina del edificio.

El origen de los daños en pilares producidos por este esfuerzo suele ser:

- asientos del terreno.
- deslizamientos del terreno.

- cargas excesivas o sobrecargas no consideradas.
- empleo de hormigones de menor resistencia.
- no empleo de armadura transversal.
- luces superiores a las empleadas en cálculo.
- secciones insuficientes.

Para evitar los daños por cortante en pilares, se deberían evitar luces de vigas descompensadas o pilares extremos con vigas de grandes luces. Para no acentuar más el problema debería realizarse una puesta en obra del hormigón adecuada, lo que implicaría un correcto vibrado y la inexistencia de nidos de piedra, y colocar los cercos necesarios.

Ménsulas.

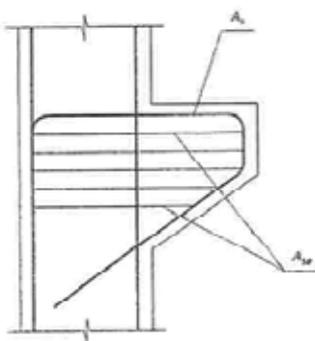
Las fisuras son finas y con tendencia a los 45° llegando a seccionar el elemento. Se producen por escasez de armadura transversal, mala colocación de la misma o por una sección insuficiente.

Para evitar el fisuramiento en estas por cortante se emplearán estribos horizontales en las ménsulas, ya que éstas son piezas que no siguen la ley de conservación de las secciones planas y las tracciones que se originan son prácticamente horizontales (lo que significa que el esfuerzo cortante de la ménsula, si no puede ser absorbido por el hormigón, será absorbido con estribos horizontales).

Las ménsulas han de repartir uniformemente las presiones en el sentido transversal, por lo que se pueden colocar en el apoyo dos láminas de neopreno que admite cierta movilidad (o corcho prensado, poliestireno de alta densidad).

El armado deberá doblarse y anclarse correctamente (debe evitarse el doblado en el plano vertical de la armadura).

Ménsula con estribos horizontales para absorber el cortante.¹⁹



¹⁹ Daños a elementos estructurales por esfuerzo cortante.2005

2.2.8.2.3.-FISURAS DE COMPRESION.

En pilares provoca diversas formas de fisuración según la esbeltez (relación altura / espesor) del mismo y si se coarta o no la dilatación transversal en sus extremos así como la heterogeneidad del hormigón a lo largo de la pieza, el reparto no homogéneo de las compresiones, etc.

Son muy peligrosas ya que indican que el pilar se encuentra al borde de su agotamiento, es decir, que el hormigón está agotando prácticamente su capacidad resistente y puede traducirse en un colapso inminente.

Pueden aparecer fisuras finas y juntas en la cara de un soporte esbelto, a mitad de su longitud. Las fisuras de agotamiento tienden a concentrarse en el tercio superior del pilar, la zona más débil de resistencia y donde suele fallar el estribado, aumentando las fisuraciones en las cabezas, justo debajo de los forjados.

Las fisuras verticales en los pilares indican colapso inminente por aplastamiento del hormigón, si estuviera zunchado el pilar saltaría primeramente el recubrimiento, aunque seguiría resistiendo pero con importantes deformaciones.

Una carga concentrada de compresión puede originar fisuras con directriz paralela a la carga ya que al aplicarse ésta sobre una sección determinada, tenderá a distribuirse por la pieza (bielas o compresiones) ocasionando tracciones (tirantes o tracciones) que provocan la aparición de las fisuras a lo largo de la pieza.

Si tenemos un pilar ejecutado con hormigones de mala calidad, la rotura comenzará en la parte superior descendiendo hasta la zona central, puesto que el hormigón de la cabeza del pilar es algo más débil por las segregaciones que se producen durante el vertido por un mal vibrado.

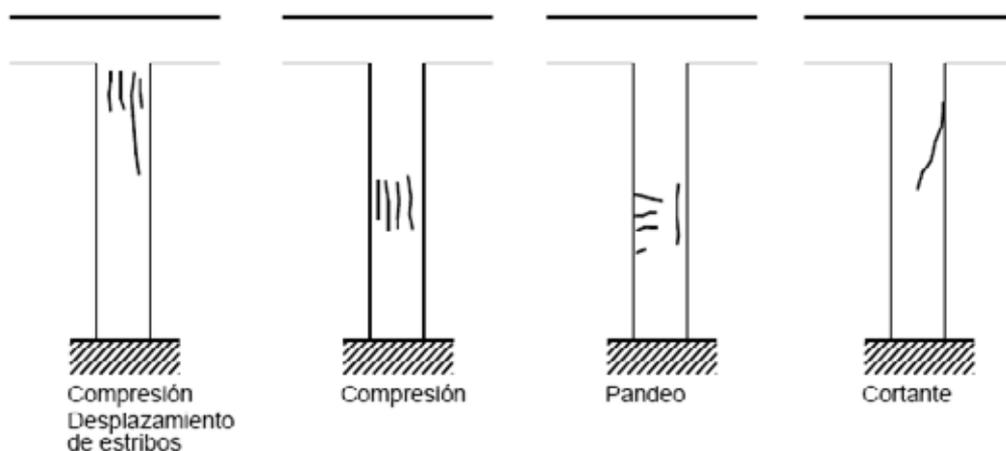
Por pandeo.

En los pilares son fisuras horizontales en el centro del soporte. La rotura es rápida y muy grave. Suele saltar primeramente el recubrimiento.

El origen de las fisuras producidas por compresión generalmente se debe:

- Mala selección de los materiales: hormigones de mala calidad.
- Dimensionado incorrecto: secciones y armaduras insuficientes.
- Ejecución incorrecta: estribos caídos o inexistentes.
- Movimientos no considerados en el calculo que provocarían momentos excesivos en pilares muy rígidos (asientos diferenciales, sismos, empujes)

-En el pandeo se originan por imperfecciones constructivas, materiales imperfectos, fallos en alineación de cargas y flexiones adicionales no previstas.



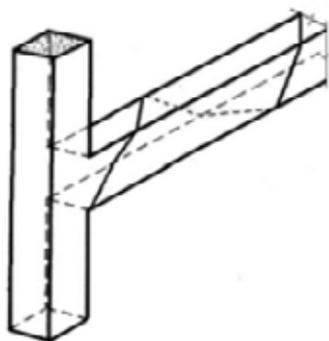
Hay que tener en cuenta que estas fisuras son especialmente peligrosas por su evolución, generalmente rápida y por la importancia de dichos elementos estructurales.

2.2.8.2.4.-FISURAS DE TORSION.

Tienen un aspecto similar a las del esfuerzo cortante y por tanto pueden ser confundidas con ellas. Provocan fisuras a 45° que buzan en dirección opuesta en ambas caras de las vigas. Suelen darse cuando existe un brochal o viga que une pórticos de luces descompensadas.

El principal criterio para distinguirlas es que en el caso del cortante las fisuras están inclinadas en el mismo sentido en las dos caras opuestas en tanto que las de torsión están inclinadas en sentidos contrarios, como se indica en la figura.

Fisuración por torsión de una viga.



2.2.8.2.5.-FISURAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES POR PUNZONAMIENTO.

El esfuerzo de punzonamiento se produce en una pieza por tracciones debidas a tensiones tangenciales provocadas por una carga o reacción localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón (alrededor del soporte).

Por tanto, el punzonamiento se puede considerar como el efecto que produce un elemento estructural de naturaleza puntual sobre su plano de apoyo, siendo el ejemplo más representativo el encuentro de los pilares con forjados, elementos de cimentación superficial, vigas planas, etc.

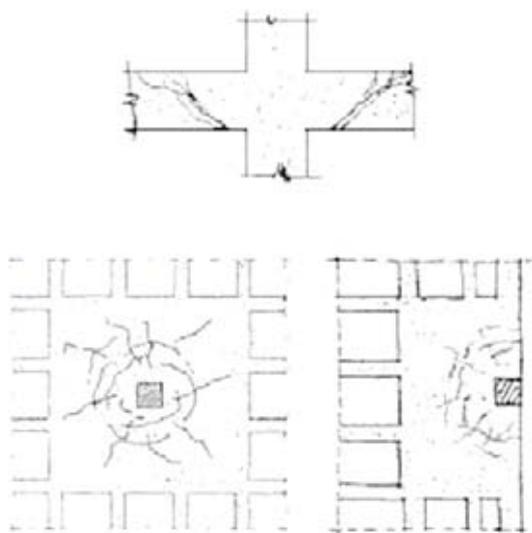
Hay que destacar el comportamiento frente a punzonamiento de los forjados reticulares y las losas macizas, por lo que principalmente procederemos a analizar este esfuerzo en los elementos mencionados.

En este tipo de elementos estructurales el daño se caracteriza por una rotura de la placa alrededor del pilar en el que apoya cuya directriz es el área cargada.

La superficie de rotura es la superficie crítica de punzonamiento, que arranca del perímetro donde apoya la losa y se eleva con una inclinación de 30° - 45° como se muestra en la siguiente figura. El área crítica se define, según la EHE art. 46.1, a una distancia igual a $2d$ desde el perímetro del área cargada o del soporte (d =canto útil de la losa).

Aspecto esquemático de fisuras de punzonamiento.

Sección o vista lateral y plantas de pilar central y de borde.



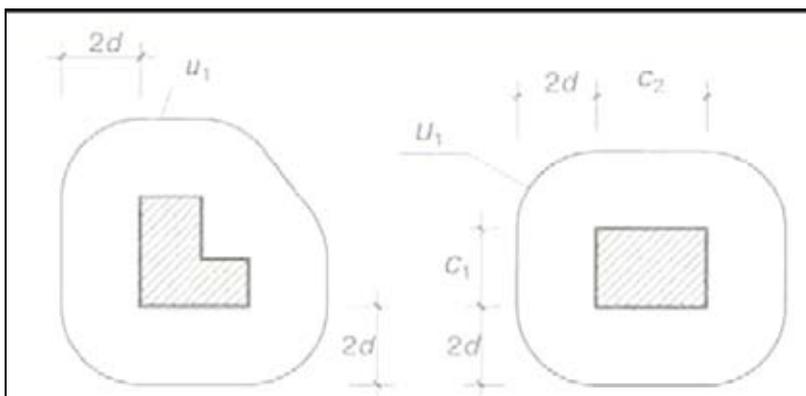
Las roturas se producen bruscamente, sin previo aviso, con consecuencias verdaderamente trágicas, habiéndose producido numerosos hundimientos de forjados, muchas veces originados por no poder apreciarse a tiempo la aparición de fisuras al quedar oculto por el pavimento. Por tanto si se detecta un riesgo de punzonamiento se deberán tomar inmediatamente medidas de apuntalamiento.

El origen de los daños puede deberse a:

- Aumento de cargas que ha de soportar la losa, no previsto, superando la sobrecarga para la que ha sido calculada.
- Presencia de huecos en zonas próximas a los pilares.
- Cálculo incorrecto.
- Planteamiento previo en proyecto de las armaduras incorrecto: escasez o ausencia de armadura de punzonamiento, etc.
- Defectos de ejecución: colocación de estribos, anclajes, recubrimientos, fallos de soldadura de los elementos metálicos en conexión con las losas de hormigón, etc.
- Falta de resistencia del hormigón.
- Corrimiento de la armadura de punzonamiento.
- Valoración inadecuada de los posibles momentos flectores.

La presencia de huecos en las proximidades de los pilares aumenta las deformaciones de las placas y aunque éstas tengan los cantos adecuados para las luces que disponen se producirían daños en las tabiquerías. Estos huecos reducen la capacidad resistente de la placa frente a los esfuerzos de punzonamiento y también de flexión, ya que disminuyen los empotramientos y el perímetro crítico y aumentan las deformaciones.

Perímetro crítico en soportes interiores²⁰.



²⁰ Daños a elementos estructurales por punzonamiento.2005

2.2.8.2.6.-FISURAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES POR ESFUERZO RASANTE.

Las tensiones rasantes son provocadas por fuerzas que van en dirección de las fibras y mantienen unidas las moléculas en dirección de la fibra neutra.

A esta sollicitación tangencial están sometidos elementos tales como: piezas de hormigón prefabricadas, juntas entre hormigones diferentes, uniones ala-alma-secciones cajón, uniones hormigón-acero (estructuras mixtas), etc.

En edificación es frecuente el uso de piezas con secciones compuestas, es decir, aquellas que están formadas por la conexión entre parte prefabricada y parte hormigonada “in situ”, teniendo ambos hormigones diferente edad así como distinta resistencia a los 28 días.

Para que una pieza de este tipo funcione adecuadamente ambos hormigones han de tener capacidad para trabajar unidos. Es el caso de los forjados con piezas prefabricadas, por la unión del hormigón de las viguetas prefabricadas y el hormigón vertido “in situ”.

Un buen ejemplo para describir los daños es el caso de las piezas compuestas que trabajan a flexión donde se forma una fisura a lo largo de la superficie de contacto, por un deslizamiento de un plano sobre el otro, dependiendo de éstas se considerará la resistencia a flexión de la pieza compuesta o la de la suma de las dos piezas simples.

Fallos de esfuerzo rasante en pieza compuesta: en el primer caso, resistencia a flexión de la pieza compuesta y en el segundo corresponde a la suma de la resistencia de las dos piezas simples.



En elementos sometidos a flexión simple, se presentan dos tipos de unión entre el hormigón de la pieza prefabricada y el hormigón “in situ”:

- **unión frágil**, cuando no se dispone de armadura transversal o es de muy baja cuantía. La rotura de la adherencia de los dos hormigones se presenta de forma repentina, con un deslizamiento entre ambos muy pequeño.

En el caso de que las juntas entre hormigones no tuvieran armadura de cosido o con una cuantía muy baja, la sección agotará su resistencia a rasante (si no existen tensiones normales al plano de la junta) una vez rota la adhesión entre los hormigones de la junta.

- **unión dúctil**, en caso de cuantías apreciables de armadura transversal. Si las piezas disponen de suficiente armadura transversal el fallo podría producirse por excesiva tracción o compresión

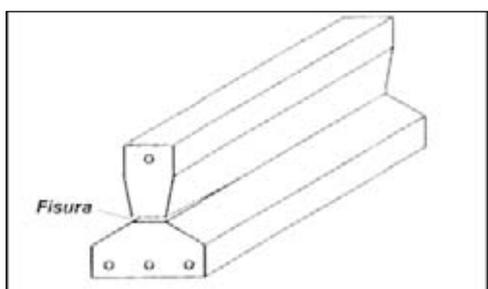
diagonal en vez de por deslizamiento a lo largo de la superficie de contacto. Si las juntas poseen armadura, la sollicitación transversal producirá un corrimiento relativo de sus caras, separándolas y provocando tracción en las armaduras que cosen la junta y compresión en la superficie de contacto, lo cual permite que se transmitan tensiones tangenciales de una cara a otra.

Fallo por esfuerzo rasante en piezas con suficiente armadura transversal (unión dúctil).



Un ejemplo de rotura frágil son las fisuras horizontales en el extremo de la vigueta que pueden continuar hasta el centro de la luz por el esfuerzo rasante y si no dispone de armadura transversal que se oponga puede llegar a seccionar la vigueta.

Fisura horizontal en vigueta.



2.2.8.3.-FISURAS POR MALA DISPOSICION DE ARMADURAS.

Las malas disposiciones de la armadura pueden dar lugar a patologías sumamente graves. Hay casos en los que el desplazamiento accidental de la armadura en obra, muchas veces por simple pisoteo provoca la reducción del canto útil y por consiguiente la drástica reducción de la capacidad resistente de la pieza.

También es posible la aparición de problemas patológicos por deficiente anclaje de las armaduras.

2.2.8.4.-FISURAS POR CORROSION DE LAS ARMADURAS.

El acero al corroerse aumenta de volumen en una proporción de 10 veces aproximadamente, por lo que actúa como una cuña interna que hace saltar el recubrimiento de hormigón. Lógicamente este efecto se producirá lo largo de las armaduras y normalmente aparecerán dichas fisuras manchadas de óxido, por lo que esta patología es muy fácil de detectar.

Las primeras armaduras en corroerse son las de la armadura principal y en fase avanzada los cercos. Es en este momento cuando la patología empieza a ser peligrosa en pilares, puesto que pueden pandear las armaduras principales.

En general las patologías por corrosión no son urgentes, en el sentido de que se precisa un ataque muy severo para que la pérdida de sección de la armadura llegue a ser peligrosa. Por lo general la reparación puede hacerse con calma y tras un estudio completo para detectar las causas. Sin embargo es conveniente recordar que esta patología no se arregla por sí misma y que hay que actuar necesariamente, aún sin prisa. Lo mejor es evitar este problema utilizando hormigón compacto, con recubrimientos adecuados y cementos con alto contenido en cal si el ambiente es agresivo.

Fisuración debida a corrosión de las armaduras.



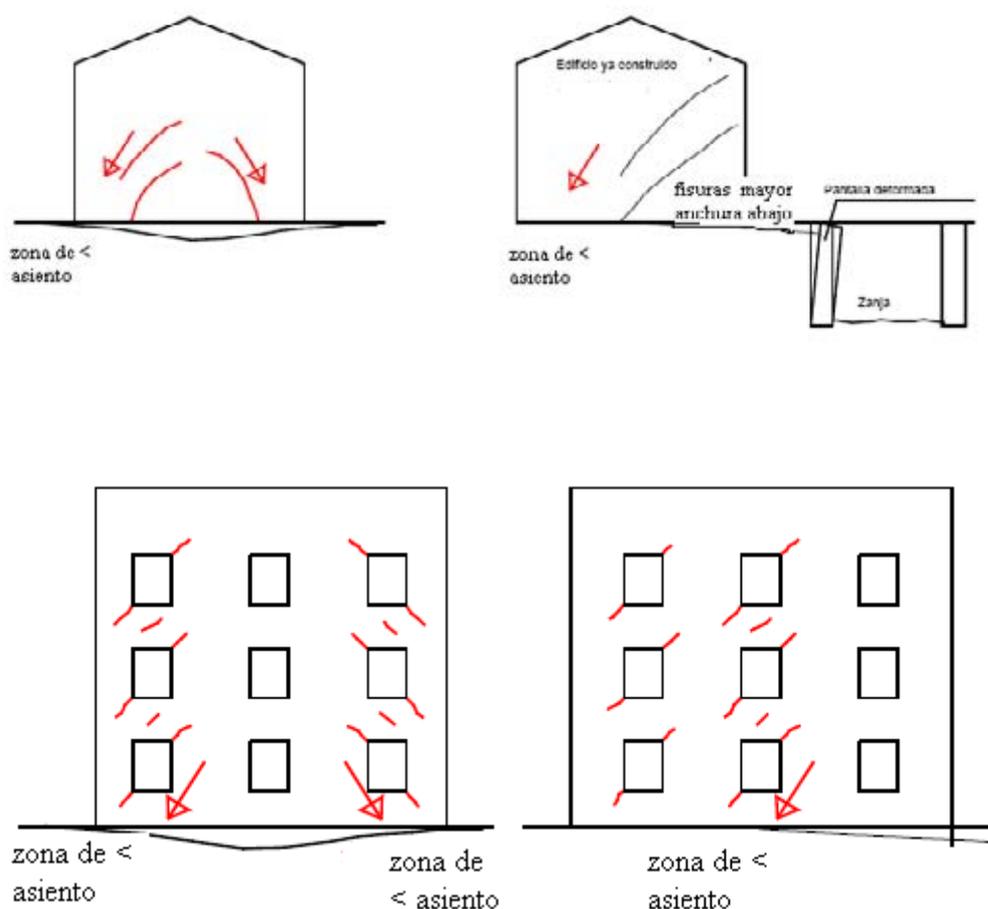
2.2.8.5.-FISURAS POR EXESO DE DEFORMACION.

Las patologías por exceso de flecha han sido normales desde siempre, pero en los últimos tiempos el problema se ha agudizado, puesto que la construcción moderna tiende hacia estructuras muy flexibles, que favorecen el exceso de deformaciones. Así la construcción con vigas planas, con piezas muy esbeltas, con menores grados de empotramiento, llevan a que las flechas, tanto instantáneas como diferidas, sean muy superiores a las tradicionales en estructuras de hormigón.

Por un lado la típica fisuración en tabiques, que no suele dar más problemas que los puramente estéticos y por otro las torsiones que los forjados pueden producir en las vigas extremas y que pueden revestir enorme gravedad.

2.2.8.6.-FISURAS POR ASIENTOS EXESIVOS.

La fisuración producida por asientos es una parte sustancial de las patologías observadas y en general suponen problemas difíciles y costosos de resolver. Esto y la propia incertidumbre de trabajar con un material como es el terreno, cuyas propiedades no son bien conocidas, hace que este tema sea de especial dificultad.



2.2.8.7.-DESAGREGACIONES.

Consisten en la degradación del cemento que deja de funcionar como aglomerante y en consecuencia deja libres los áridos. Las causas de las desagregaciones suelen ser ataques químicos, sobre todo sulfatos y cloruros.

El proceso es lento y empieza generalmente con un cambio de coloración, seguido de la formación de fisuras entrecruzadas que van aumentando progresivamente. A continuación la superficie se va abarquillando, hasta que se desprende y se va desintegrando la masa del hormigón.

2.2.8.8.-DISGREGACIONES.

Las disgregaciones son roturas que se producen desde el interior del hormigón por esfuerzos internos que produzcan fuertes tracciones, que el hormigón no puede resistir.

Las disgregaciones pueden producirse por causas muy diversas. Así la corrosión de armaduras o las deformaciones muy fuertes, que producen disgregación del hormigón superficial.

También pueden producirse fenómenos de disgregación al helarse agua que haya podido penetrar en cavidades internas.

Hay que considerar además de la sintomatología que se ha descrito otros fenómenos patológicos, que si bien no son tan importantes ya que no afectan estructuralmente a una obra si son considerables desde el punto de vista estético. Estos son:

CAMBIOS DE COLOR.

Producidos por el efecto de cloruros, diversos aditivos o desmoldeadores.

2.2.8.9.-EFLORESCENCIAS.

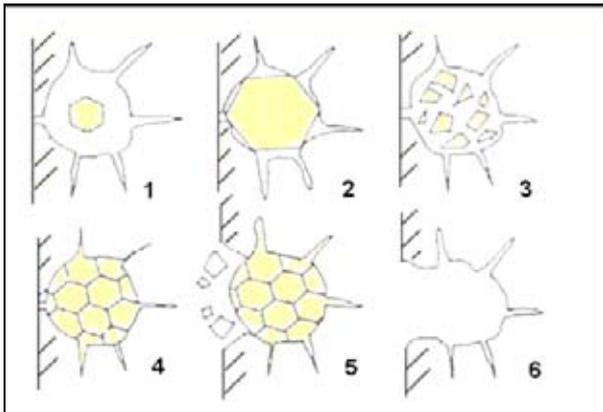
Producidos por diversas sales solubles que pueda contener el agua de amasado o de curado y que cristalizan en la superficie del hormigón.

Se trata de una patología que podemos observar en muchas ocasiones en las fachadas de los edificios de nuestras ciudades, aunque generalmente tan sólo se trata de un defecto estético sin mayores consecuencias para la estructura.

Las eflorescencias son depósitos de sales cristalizadas que se posan en la superficie en forma de manchas, generalmente, blanquecinas.

Diferenciaremos aquí las eflorescencias, que son depósitos superficiales, de las *criptoeflorescencias*, que son depósitos interiores en los poros del material, y son más peligrosas, pues al aumentar de volumen en el interior del material crean fuertes tensiones que hacen que el poro se abra y entre agua, hielo, etc. que, aunque lentamente, podría llegar a destruir el material.

Esquema evolutivo de eflorescencias.



- 1.- Formación de sales en el interior del poro.
- 2.- Crecimiento del cristal en el interior.
- 3.- Fracturación del cristal.
- 4.- Continuación del crecimiento de las partículas.
- 5.- Rotura del poro por las fuerzas de cristalización.
- 6.- El viento y la lluvia eliminan los restos de arena que se formaron y quedaron en el exterior.

CAPITULO III: RECONOCIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO.

3.1.- ANTECEDENTES GENERALES.

La marquesina se encuentra ubicada al interior del parque SAVAL Avenida M.H. Agüero s/n, Isla Teja, Comuna de Valdivia.

La construcción data del año 1950 aproximadamente. Esta estructura de hormigón armado combina una marquesina con sus respectivas gradas en su parte posterior y un edificio en su parte anterior que se uso como un casino hace algún tiempo. En la actualidad solo se da uso a la marquesina para algunos eventos especiales.

A continuación se adjuntan las superficies del edificio.

Superficie de planta:

Primer piso	
Interior (Zona excasino)	480,40 m ²
Pasillo exterior techado	84,60 m ²
Baños públicos	38,27 m ²
Bodega	38,90 m ²
Total	642,17 m ²

Segundo piso	
Interior	566,75 m ²
Techo voladizo de gradas	322,00 m ²
Total	911,15 m ²

Los elementos estructurales constituyentes del edificio son fundaciones, losas, muros, pilares, vigas de hormigón armado.

La estructura cumple con algunas condiciones, como un porcentaje adecuado de densidad de muros de hormigón armado además de un diafragma rígido a nivel del cielo del primer piso correspondiente a la zona poniente del edificio.

El edificio posee una combinación de elementos resistentes en base a muros, pilares y vigas de hormigón armado, por lo cual podemos hablar de que el edificio posee un sistema resistente a cargas laterales adecuado.

3.2.- HISTORIA SISMICA.

Es importante mencionar la historia sísmica de Valdivia, ya que esta estructura sufrió un fenómeno de este tipo, a continuación se detallaran los fenómenos sísmicos mas importantes ocurridos en la ciudad de valdivia.

Acciones sísmicas ocurridas en Valdivia.²¹

Fecha	Epicentro	Magnitud (Richter)
16-12-1575	Valdivia-Tsunami	8,5
24-12-1737	Valdivia	7,5-8,0
27-11-1837	Valdivia-Tsunami	8
22-05-1960	Valdivia-Tsunami	9,5

La estructura estuvo afecta al terremoto más grande de la historia, sin observarse daños importantes que afecten considerablemente su capacidad resistente y funcionalidad. Es relevante mencionar este hecho ya que la marquesina no colapsó, a pesar de que este tipo de estructuras son las más vulnerables a las acciones sísmicas por tener un solo apoyo, sin olvidar el año en que se construyo.

A simple vista se pueden observar fisuras en los muros laterales de la marquesina y otra fisura que se encuentra en el acceso sur al edificio (ex -casino) que se detallara en el próximo capítulo. Cabe mencionar que la parte del ex-casino se encuentra deteriorada debido a su abandono, y falta de mantención por parte de los encargados correspondientes pudiéndose observar los vidrios quebrados, la cubierta en muy mal estado permitiendo el paso de la lluvia lo que con certeza a deteriorado los elementos estructurales de esta zona del edificio, entre otros deterioros menores.

Se adjuntan planos del edificio en el anexo, para visualizar de mejor forma la estructura.

²¹ Terremotos en Chile 2006.

CAPITULO IV: PATOLOGIAS DEL EDIFICIO: ANALISIS Y SOLUCIONES.

Al edificio en estudio se le harán los siguientes ensayos:

No destructivos:

4.1.-Ensayo esclerometrico (Martillo Schmidt.)

4.2.-Ensayo de ultrasonido.

Destructivos:

4.3.-Extracción de testigos probetas, para su posterior ensayo de fenoftaleina.

4.4.-Ensayo de fenoftaleina a testigos para determinar posible carbonatación.

Los ensayos no destructivos son una herramienta útil para determinar la calidad del hormigón endurecido, pero en ningún caso reemplazan a los destructivos.

En el caso de estructuras de dudosa calidad, ya sea afectadas por esfuerzos o ataques de elementos agresivos al hormigón, se suele aplicar esta técnica con el fin de efectuar un diagnóstico preliminar del elemento en estudio.

Efectuado éste, se podrán investigar las zonas con mayor daño con técnicas destructivas, y emitir una opinión más fundada sobre la estructura. En general se puede señalar, que los ensayos no destructivos son la etapa previa de los ensayos.

4.1.- ENSAYO ESCLEROMETRICO (Martillo Schmidt).

Determinación del índice esclerométrico:

La norma NCh 1565 Of 79, establece el procedimiento para determinar el índice esclerométrico del hormigón endurecido mediante el empleo de un martillo de acero impulsado por resorte, cuyo rebote se registra en una escala lineal incorporada al instrumento. El uso de este dispositivo no es aplicable a la determinación de la resistencia del hormigón, por lo tanto no es alternativo respecto de los ensayos que se usan normalmente con este objeto como es el de compresión, flexotracción, etc.

El índice esclerométrico se aplica para evaluar la uniformidad del hormigón, delimitar zonas de hormigón pobre o deteriorado dentro de una estructura, determinar cambios en el tiempo de ciertas características del hormigón o para supervisar en forma rápida grandes áreas de hormigones similares.

A. Selección del área de ensayo.

Los hormigones que se van a comparar deben ser del mismo tipo con un espesor igual o mayor a 100 mm, tener aproximadamente la misma edad y estado de humedad; la superficie debe ser de una textura similar evitando nidos de piedra y zonas escamosas o muy ásperas.

B. Preparación de la superficie del ensayo

En el área seleccionada debe marcarse una superficie cuadrada de a lo menos 200 mm por lado, la que, en caso de ser áspera, blanda o con mortero suelto, debe ser emparejada con piedra abrasiva. La superficie a ensayar debe ser humedecida totalmente por 24 horas previas al ensayo.

C. Calibración

Además de la mantención periódica a la que debe ser sometido, el martillo debe calibrarse antes de su empleo, accionándolo hacia abajo sobre un yunque especial colocado sobre una base firme. El valor de rebote debe ser entre 78 y 82.

D. Ensayo

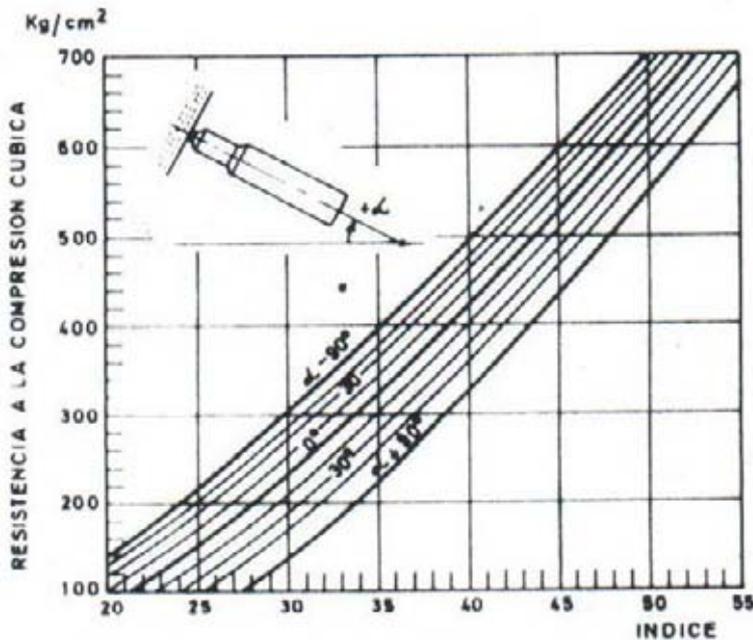
- Los ensayos comparativos deben efectuarse con un mismo martillo, el que debe sujetarse firmemente en posición perpendicular a la superficie de ensayo. La posición normal es la horizontal y en caso de utilizarse en otras posiciones, las lecturas deben ser corregidas de acuerdo a las indicaciones del fabricante.
- En el caso de las losas éstas deben ser ensayadas por su cara inferior.
- El martillo se presiona gradualmente hasta que se dispara. Después de cada disparo se examina el lugar del impacto y si se nota trituración o daño superficial se descarta la medida. Si el punto de impacto se nota sano se registra la lectura aproximándola a la menor división de la escala y se repite la operación hasta completar 10 valores.

E. Cálculo e interpretación de resultados

- Se saca el promedio de las 10 lecturas realizadas y se descartan aquellas que difieren en más de 7 puntos con respecto a este valor. Si las lecturas descartadas son 3 o más, el ensayo debe repetirse.
- El índice esclerométrico es el promedio de las 8 o más lecturas que se consideraron apropiadas.

Curva de relación índice Esclerometrico-Resistencia.²²

²² Zabaleta.H.1988.



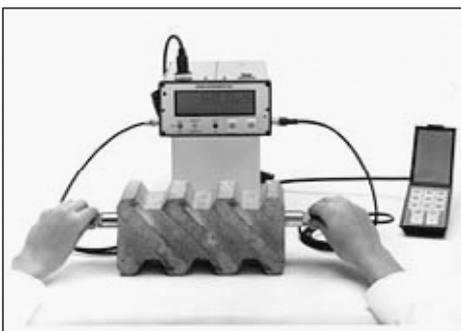
4.2.- ENSAYO DE ULTRASONIDO.

Entre las pruebas no destructivas se encuentra el uso del equipo ultrasónico. Con esta prueba es posible determinar el grado de homogeneidad, entre otras características. Esto se logra a través de mediciones de la velocidad ultrasónica sobre el material que se va a probar.

Así el equipo hace posible conocer el hormigón en las siguientes cualidades: homogeneidad, la presencia de fisuras, los huecos, los cambios en hormigón debidos a diferentes causas como ataques del fuego y bioquímicos, así como también la calidad del hormigón.

Existen varios tipos de equipos, pero en lo esencial poseen transductores capaces de marcar el tiempo de propagación de una onda a través del hormigón.

Equipo ultrasónico.



Utilización.

Cuidadosamente se elige la muestra o el elemento que se va a ensayar y se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el hormigón y la distancia entre

transductores o terminales; estas distancias no deben exceder de 400 mm y se recomienda que sean lo más constantes posibles para asegurarse de que las lecturas obtenidas sean uniformes.

Una vez que la onda se transmite a través del hormigón, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de propagación de la onda en el hormigón que, junto con la distancia entre transductores, nos ayudará a saber la velocidad de pulso. Esta velocidad se compara con diferentes criterios existentes y es así como se conocerá el estado del hormigón ensayado.

Se debe asegurar que los transductores tengan un buen acoplamiento sobre la superficie del hormigón. Esto se logra colocando entre la superficie de hormigón y los transductores vaselina. En superficies muy rugosas se deberá efectuar un tratamiento previo. Al colocar los transductores sobre la superficie del hormigón se debe:

-Procurar no moverlos, ya que se puede generar ruido y consecuentemente lecturas erróneas.

-Mantener firmes los transductores hasta que la lectura sea definida.

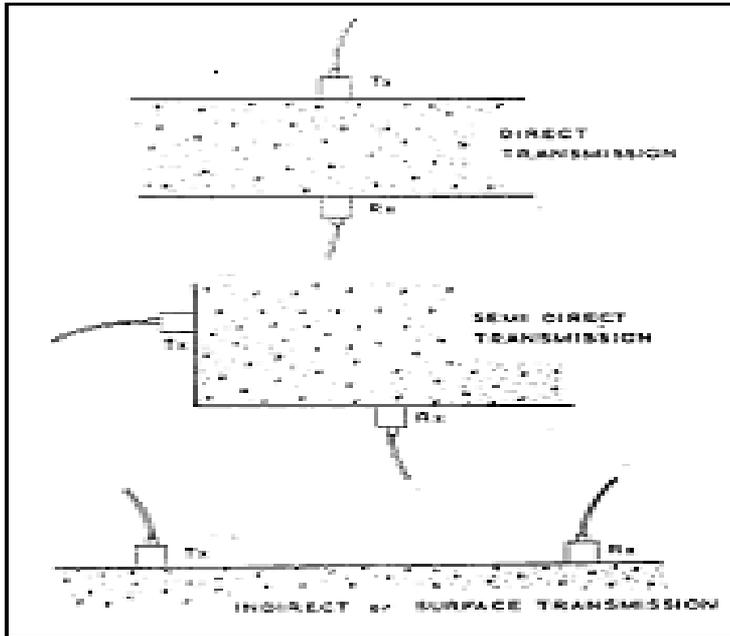
Criterios para la Selección de Puntos de Ensayo.

Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos y fisuras que afectarán nuestra prueba.

Es necesario quitar el acabado de la superficie (yeso, cemento, pintura, etc) con el fin de evitar resultados erróneos por la posible separación entre el acabado y el elemento que se va ensayar.

Cuando la superficie es rugosa, es necesario pulirla con una piedra de pulir, con el fin de evitar que los transductores obtengan una señal defectuosa.

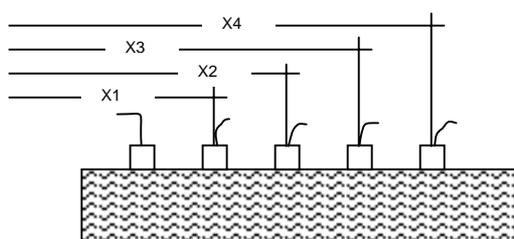
En la figura se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba de la probeta. La transmisión puede ser directa, semidirecta o indirecta.



Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el hormigón mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, la semidirecta puede usarse tomando en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal, aplicando el teorema de Pitágoras.

La transmisión indirecta es la menos satisfactoria, ya que además de su relativa insensibilidad, nos da medidas de la velocidad de pulso que usualmente tienen la influencia de la capa de hormigón cercana a la superficie, que no serán representativas del hormigón en estratos más profundos. Aún más, la longitud de la trayectoria está menos definida y no resulta satisfactorio el tomarla como la distancia de centro a centro de los transmisores; para corregir esto perfectamente, debe adoptarse el método mostrado en la figura siguiente, para determinar la velocidad de pulso.

En este método, se coloca el transmisor en un punto elegido de la superficie y el receptor sobre los puntos sucesivos a lo largo de una misma línea, la distancia centro a centro se obtiene directamente para cada punto, con su tiempo de propagación respectivo. El inverso de la pendiente de la línea recta dibujada entre dos puntos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo, nos da la velocidad promedio del pulso en la superficie. (Ver la figura adjunta)

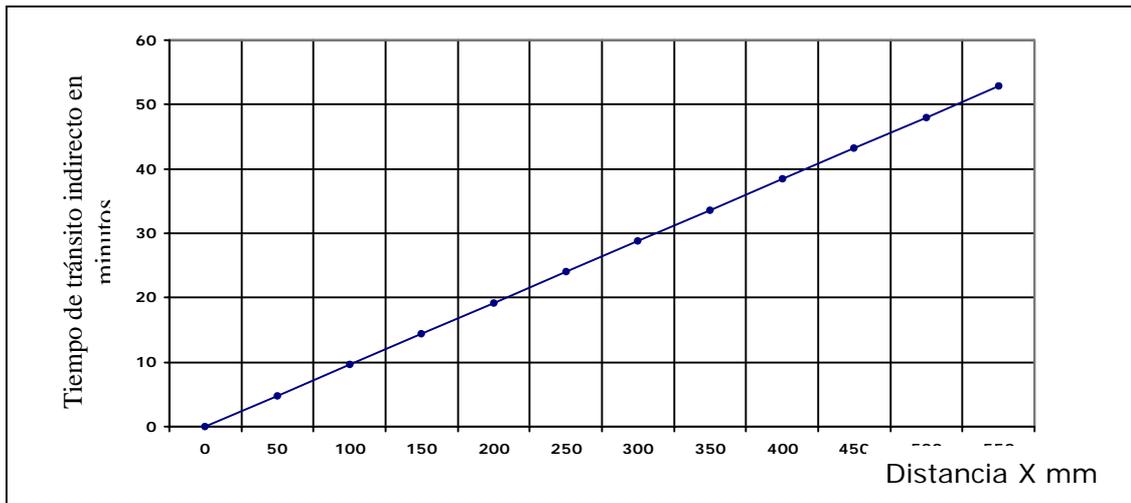


$$Pend = (t_2 - t_1) / (X_2 - X_1)$$

$$V = 1 / Pend$$

$$V = (X_2 - X_1) / (t_2 - t_1)$$

Método para determinar la distancia de tránsito con arreglo indirecto.²³



También se ha visto que la velocidad de pulso determinada por el método indirecto es menor que la que se obtiene con el método directo. Cuando sea posible efectuar mediciones por varios métodos, se establecerá una relación entre ellos y podrá determinarse el factor de corrección.

Cuando no sea posible el método directo, un valor aproximado para obtener la velocidad mediante el método indirecto será:

$$V_D = 1,05 V_I$$

Donde:

V_D = Velocidad de pulso obtenida usando el método directo.

V_I = Velocidad de pulso obtenida usando el método indirecto.

Si los datos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo no están en línea recta, es decir, que hay cambios de pendiente, significa que el hormigón cercano a la superficie es de calidad variable o que existe una fisura en el hormigón en la línea sobre la cual se realiza la prueba. Lo anterior se comprueba cuando la velocidad comienza a bajar el espesor del estrato afectado se puede calcular como sigue:

$$T = (X_0/2) * ((V_s - V_d)/(V_s + V_d))^{0.5}$$

Donde:

t = espesor de la capa de hormigón afectada.

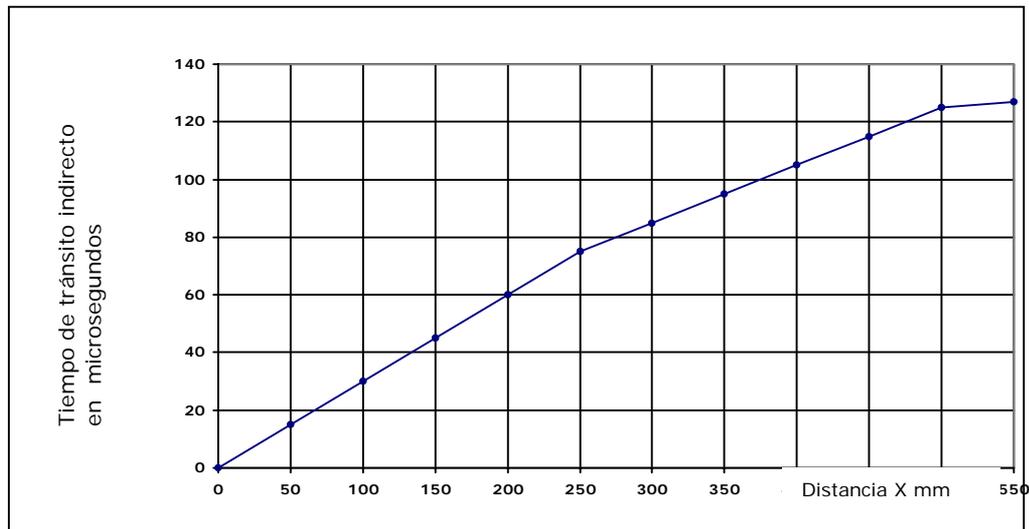
²³ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

X_0 = distancia en la cual ocurre el cambio de pendiente.

V_d = velocidad de pulso en hormigón dañado.

V_s = velocidad de pulso en hormigón no dañado.

Gráfica de distancia en contraposición con el tiempo²⁴.



Las condiciones de prueba influyen en la velocidad de pulso; por lo tanto, debemos tener en cuenta las siguientes:

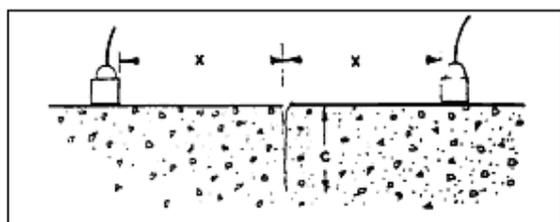
- La longitud de la trayectoria es insignificante cuando no es menor que 100 mm para un agregado de 20 mm, o no menor que 150 mm para un agregado de 40 mm.
- La velocidad de pulso no se verá afectada al hacer mediciones en dos dimensiones diferentes del elemento, siempre y cuando no se varíe el ángulo recto entre ellos.
- La influencia del refuerzo generalmente es pequeña si las barras se encuentran perpendicularmente a la trayectoria del pulso (cabe recordar que la velocidad del pulso será mayor en las barras que el hormigón); la influencia es significativa si las barras están en la dirección del pulso. En general, hay que evitar aplicar el pulso ultrasónico cerca de las barras de acero, ya que entonces se deberán corregir los resultados con factores de ajuste. Si al aplicar el pulso, el tiempo de propagación se incrementa en gran medida, lo mejor es buscar otra parte del elemento y hacer ahí las mediciones, ya que los factores de corrección son sólo aproximaciones. Para evitar las mediciones en las zonas de armadura, es conveniente utilizar un “Pacómetro” o detector de armaduras, este equipo permite delinear las zonas donde se encuentra el acero de refuerzo.
- La humedad en el hormigón puede ser reducida; sin embargo puede ser significativa en el pulso ultrasónico. En general, la velocidad se incrementará a medida que aumenta el contenido de humedad, y con ello se puede obtener un hormigón de buena calidad en lugar de un hormigón pobre.

²⁴ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

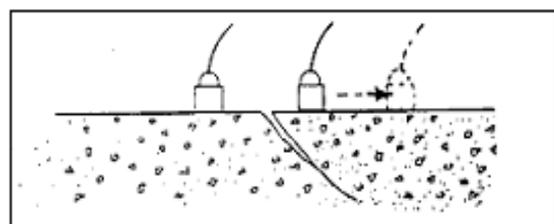
Al emplear el pulso ultrasónico, el aspecto más importante que se debe considerar es el número de elementos ensayados, ya que entre mayor sea la muestra se tendrán más elementos de comparación para poder obtener un juicio acerca de la calidad del hormigón, la selección de los puntos debe hacerse en forma aleatoria.

Cuando hay una fisura en el hormigón, el pulso ultrasónico nos permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la fisura a una distancia "x", procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior.

Medición profundidad de grietas.



Medición de inclinación de grietas.



Para determinar la profundidad de una fisura, se cuentan con dos tiempos t_1 y t_2 para distancias X y $2X$, respectivamente, dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C = X (4(t_1^2 + t_2^2) / (t_2^2 - t_1^2))^{0.5}$$

Donde:

C = profundidad de la grieta

X = distancia inicial

t_1 = tiempo de la distancia inicial (X)

t_2 = tiempo del doble de la distancia ($2X$)

Para determinar la inclinación, se colocan los transductores a los lados de la fisura y después se mueve uno de ellos alejándolo de la fisura. Si al efectuar esta operación la lectura del tiempo de propagación disminuye, significa que la fisura presenta inclinación hacia ese lado.

Registro de Datos.

Para llevar el registro de datos se necesita una libreta de registro, una planta tipo o croquis de los puntos que se van a muestrear y datos del edificio. En la libreta se registra la distancia, el tiempo de propagación y tipo de lectura para cada elemento ensayado, ubicación exacta del elemento ensayado, T° ambiente y humedad.

INTERPRETACION DE DATOS.

Gráficas y tablas de correlación de datos obtenidos.

El primer resultado que se debe obtener de los datos recopilados es la velocidad de pulso en el elemento que se va a ensayar, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$\text{Velocidad de Pulso}^{25} \text{ (km/seg)} = \frac{\text{Distancia entre transductores (cm)} * 10}{\text{(Lectura de tiempo (microseg))}}$$

La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio. Esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes.

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.²⁶	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

²⁵ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

²⁶ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

Evaluación la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros. ²⁷	
Velocidad de pulso m/seg	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas. ²⁸	
Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación m/seg
Selecciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Todos los datos y resultados obtenidos se anotan en la tabla de interpretación de datos.

Para obtener el módulo de elasticidad dinámico a partir de la velocidad de pulso, se cuenta con las siguientes expresiones:

1. *Para probetas de laboratorio* : $Ed = 1.02 * V^2 * W * 10^5$
2. *Para losas* : $Ed = 0.961 * V^2 * W * 10^5$
3. *Para hormigón en masa* : $Ed = 0.866 * V^2 * W * 10^5$

Donde:

Ed = módulo dinámico de elasticidad del hormigón

V = velocidad de pulso

W = Peso volumétrico del hormigón

²⁷ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

²⁸ Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

CALIBRACION Y MANTENCION.

Proceso de calibración del Equipo.

El equipo cuenta con una barra de calibración, la que tiene grabado en su costado el tiempo de propagación del pulso por dicha barra. Para calibrarse se colocarán los transductores debidamente engrasados en los extremos de la barra calibradora y por medio del botón de ajuste, que se encuentra al frente del aparato, se iguala la lectura de la barra calibradora. Esta operación se efectuará al iniciar las mediciones y estando en operación durante períodos de una hora.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EQUIPO.

El equipo proporciona grandes ventajas, entre ellas podemos mencionar su poco peso, fácil uso y manejo, pero sobre todo la confiabilidad en sus resultados, ya que una forma rápida y sencilla permite conocer el estado que guarda el hormigón del elemento ensayado.

Presenta como desventaja, que los cables transmisores en varias ocasiones presentan falsos contactos debido al exceso de movimiento, con lo cual se dificulta efectuar las lecturas.

4.3.- ENSAYO DE COMPRESION.

Por resistencia mecánica se entiende la capacidad de un material de resistir tensiones ya sean de compresión, tracción, flexión o combinaciones de ellas. Sin duda que estas capacidades del material, definen su aptitud para ser utilizado en distintas aplicaciones estructurales. Otras características del hormigón como su impermeabilidad y densidad, tienen relación directa con la resistencia mecánica. En general, y en el hormigón en particular, medir la capacidad o resistencia a la compresión es relativamente sencillo comparado con las mediciones de tracción o flexión.

Por lo anterior, se utiliza la resistencia a compresión del hormigón como medida de su calidad general, en el sentido que, a mayor resistencia mayor densidad, mayor impermeabilidad y mayor durabilidad en general.

Una vez que se evidencia la necesidad de extraer y ensayar testigos, se hace necesario establecer condiciones para ello.

La norma chilena para testigos identifica una serie de aspectos que se deben verificar para dichos procesos, dentro de los cuales se comentaran aquellos que son más relevantes.

Condiciones para la extracción.

Con la finalidad de evitar el deterioro del testigo durante el proceso de extracción, preparación o ensayo, es necesario asegurar q el hormigón tenga una resistencia cúbica (20cm x 20cm) de, al menos 10 MPa o bien una edad mínima de 14 días.

Estas condiciones son importantes de respetar, puesto que cualquier daño que pueda afectar el resultado del testigo será difícil de de identificar una vez realizado el ensayo.

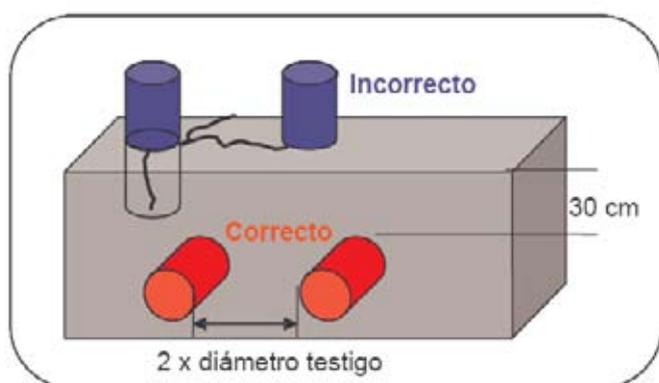
La distancia entre testigos, y la de estos con los bordes, debe ser lo suficientemente holgada para evitar daño de la estructura y/o de los mismos. Esta distancia debe ser, como mínimo, dos veces el diámetro de los testigos.

Para aquellos testigos extraídos en forma horizontal, ellos deben ubicarse en el tercio central del elemento bajo análisis y a una distancia superior a los 30 cm. de bordes y juntas de hormigonado.

Los testigos extraídos en forma vertical deben estar separados en mas de 60 cm entre ellos, de los bordes y de las juntas de proyecto.

Ocasionalmente, por dificultades de extracción, no se considera lo anterior, siendo una situación común la extracción vertical en elementos como sobrecimientos, donde el proceso es muy simple, pero debilita al hormigón de su contorno, pudiendo producir fisuras en el mismo testigo o en el que se extraerá a continuación.

Un esquema de lo indicado se presenta en la siguiente figura. Para los casos como el señalado se deben considerar las actividades necesarias para permitir una extracción horizontal.



Esquema de extracción en elemento.

Extracción, transporte al laboratorio y preparación de testigos para ensayos.

Los procesos de extracción y transporte pueden producir daños, agrietamientos u otras alteraciones que impidan obtener un resultado fidedigno.

La norma establece la necesidad de la redacción de un informe en el que conste, si existen o no, características visibles importantes del elemento del que se extrae el testigo (fisuras, nidos, porosidades), así como la ocurrencia o no de anomalías durante el proceso de extracción y transporte .

El marcado e identificación de cada testigo debe efectuarse de manera indeleble en su manto, de manera tal que se pueda identificar en cualquier momento.

Antes de iniciar la preparación del testigo para su ensayo, se ha de realizar una inspección visual para verificar la existencia de fisuras, grietas, nidos de piedra, inclusión de elementos ajenos al hormigón u otros.

4.4.- ENSAYO DE CARBONATACION POR MEDICION DE FENOFTALEINA.

La fenolftaleina es un indicador colorimétrico del ph, el cual varía de un color fucsia a incoloro, dependiendo del elemento sobre el cual se aplica. Es una molécula orgánica que posee dos estructuras diferentes, las cuales se presentan dependiendo del ph alcalino sobre 9 y la otra un ph menos alcalino bajo 9.

La manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper el hormigón (preferentemente cerca de un borde), o extraer un testigo normalizado en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de soplar todo el polvo residual del espécimen o del substrato, se pulveriza una solución del 1% de fenolftaleina en alcohol de 70° sobre el hormigón. Las áreas carbonatadas del hormigón (ph menor a 9) no cambiarán de color, mientras que las áreas con un ph mayor que 9 adquirirán un color fucsia intenso. Este cambio es muy apreciable de color muestra cuan profundamente ha progresado el “frente” de carbonatación dentro del hormigón. En la siguiente fotografía se observa un testigo de hormigón con un avance del frente de carbonatación de más de 40mm.



Otro aspecto importante de este análisis es la zona con tono fucsia gradualmente se decolora, al seguir avanzando la carbonatación, es por esto que se debe medir inmediatamente la muestra o

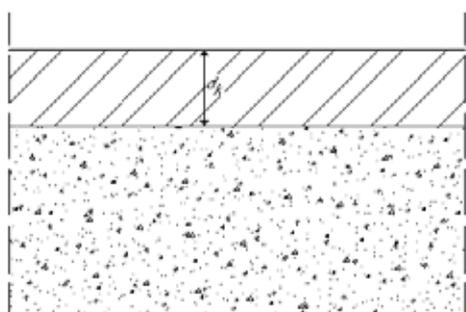
guardarla en una bolsa o recipiente hermético, libre del efecto de CO₂. El ensayo para determinar la profundidad de la carbonatación anteriormente descritos se basa en la norma rilem cpc-18 que establece las metodologías para ensayos de probetas hechas en laboratorios y testigos de estructuras reales. En el caso de estructuras reales los requerimientos de exactitud son menos exigentes.

Esta norma indica que el ensayo para medir la profundidad de carbonatación en una estructura de hormigón se puede realizar de dos maneras, la primera es picando con un cincel y luego rociar la zona picada con una solución de fenoftaleína posteriormente se mide dentro del agujero la profundidad de carbonatación (distancia desde el exterior hasta la zona que adquirió un color rojizo). La otra forma propuesta es extraer testigos de al menos 2" de diámetro y luego de haberles realizado el ensayo de hendimiento (para partir la probeta) se le aplique la solución de fenolftaleína a la zona fracturada. De esta forma se puede medir la profundidad de carbonatación la que corresponde a la extensión de la zona incolora en el testigo.

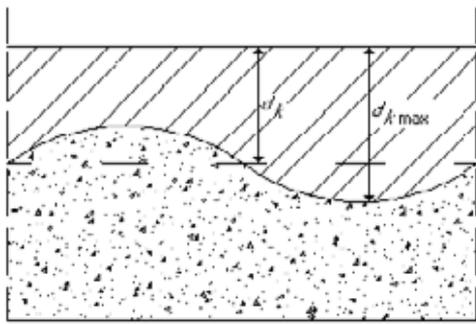
Según esta norma la profundidad de carbonatación desde la superficie de exposición hasta la zona carbonatada se denomina d_k y considera diversas formas de determinar dicha distancia.

Existen tres formas de medir la profundidad de carbonatación d_k dependiendo de la forma en que se presente dicha carbonatación:

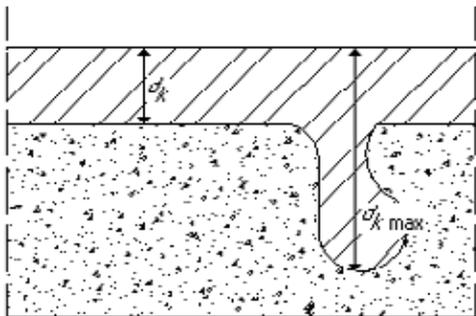
- Frente paralelo regular la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación tiene un valor constante. Ver figura 3.7 a).
- Frente paralelo e irregular a la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación se estima como el promedio de las distintas profundidades de carbonatación. Ver figura 3.7. b).
- frente paralelo y constante pero con una irregularidad. En este caso no se debe considerar el promedio, omitiendo así la irregularidad. Ver figura 3.7 c).



Forma (a).



Forma (b).



Forma (c).

Figura 3.7.-Diferentes forma de avances del frente de carbonatacion.

La norma también recomienda no medir la profundidad de carbonatacion donde exista presencia de áridos de gran tamaño debiendo medir la distancia d_k en una zona donde exista solamente pasta de cemento. las medidas d_k se deben tomar en forma perpendicular respecto a la superficie expuesta, aproximadamente al milímetro.

Es importante aclarar que este método indicativo de la carbonatacion no hace posible determinar la influencia de otros agentes agresivos como por ejemplo, SO_2 HCl u otros ácidos, existiendo para ellos métodos propios

4.5.- ANALISIS Y SOLUCIONES.

Para la determinación del índice esclerometrico se prepararon las distintas superficies de los elementos estructurales a ensayar, luego se efectuó el ensayo con su respectiva toma de datos de los distintos niveles del edificio por medio del Martillo Schmidt adoptando el criterio de abarcar las distintas zonas estructurales y las singularidades donde a priori se presentaban patologías o se sospechaba un regular estado del hormigón.

4.5.1.-Resultados de ensayo esclerometrico.

Elementos ensayados primer nivel.

Pilares.

P 1-1	P 1-2	P 1-3	P1-4	P 1-5
43	45	47	37	41
45	47	49	39	43
45	49	51	41	47
47	53	45	37	45
49	49	45	39	41
47	47	47	37	41
47	51	51	43	45
51	47	53	47	47
45	45	49	41	43
47	51	49	39	41
46,6	48,4	48,6	40	43,4

Muros.

M 1-1	M 1-2	M 1-3	M 1-4	M 1-5	M 1-6
45	41	49	57	43	55
43	39	45	55	41	55
47	41	43	55	45	51
45	39	49	53	39	53
41	39	49	47	47	53
43	41	47	51	45	51
43	37	47	49	43	51
41	35	41	51	47	55
47	37	45	57	43	51
41	39	47	53	45	55
43,6	38,8	46,2	52,8	43,8	53

Losas y Viga.

L 1-1	L 1-2	V 1-1
57	47	45
51	53	45
53	45	49
55	45	45
57	49	47
55	47	49
51	43	47
55	51	47
59	49	49

57	47	51
55	47,6	47,4

Elementos ensayados segundo nivel.

Pilares.

P 2-1	P 2-2	P 2-4	P 2-5	P 2-6	P 2-7	P 2-8
51	51	45	49	45	45	43
43	55	49	57	47	49	47
45	53	51	55	43	47	41
45	57	55	47	47	49	43
51	55	53	53	45	51	41
51	57	49	55	43	53	47
45	55	51	59	45	51	45
47	47	49	55	43	45	49
51	55	53	55	49	45	45
47	57	47	57	47	49	43
47,6	55	50,2	54,2	45,4	48,4	44,4

Muros.

M 2-2	M 2-3	M 2-4
37	29	49
35	33	55
39	31	51
39	31	53
45	35	49
43	37	51
41	31	51
43	31	57
37	35	55
37	35	53
39,6	32,8	52,4

Los valores obtenidos anteriormente corresponden al índice esclerométrico que mide la dureza en el punto en que se produjo el impacto del martillo es decir la dureza superficial del elemento ensayado existiendo una dispersión que es significativa.

El índice esclerométrico puede ser correlacionado con la resistencia a compresión del hormigón, sin embargo cabe señalar, que a pesar de lo indicado por esas curvas la correlación entre ambos factores no es buena. Esto se debe a que existen varios factores que inciden en este aspecto tales como:

-La edad del hormigón.

- El estado de la superficie.
- La carbonatación superficial producida.
- El tamaño del elemento controlado.

ANALISIS ESTADISTICO.

TEST DE HIPOTESIS.

Este test consiste en tomar pares de elementos ensayados esclerometricamente y determinar básicamente con un cierto nivel de significancia si sus medias son iguales o no.

Para este estudio se usara una herramienta estadística llamada test de hipótesis.

Antes de hacer el test de hipótesis para la diferencia de medias es necesario hacer previamente el test para las razones de varianzas, con lo cual se sabrá si estas son iguales o distintas. Es de gran importancia hacer previamente este test ya que de no hacerlo se caería en conclusiones erróneas y no tendría ninguna validez el test de hipótesis (t-Student).

Para comparar las media poblacional 1 (μ_1) con la media poblacional 2 (μ_2), lo primero que se debe saber es si la varianza poblacional 1 (σ_1^2) es distinta o igual de la varianza poblacional 2 (σ_2^2), ya que estas son desconocidas.

La regla es esta:

$$\text{Estadística de Prueba } F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \sim F_{(p, q)} \text{ , donde } p = n_1 - 1 \text{ y } q = n_2 - 1$$

Hipótesis Nula	Hipótesis Alternativa	Rechace H_0 si
$H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$	$H_1 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$	$F > F_{(p, q, 1-\alpha/2)} \text{ o } F < F_{(p, q, \alpha/2)}$

Fuente: Instituto Tecnológico de Chihuahua.2005.

El estadístico de prueba F se calcula dividiendo la Varianza muestral 1 (S_1^2) por la Varianza muestral 2 (S_2^2). Los resultados de los elementos a comparar se adjuntaran en el anexo “E”, además la regla dice que el estadístico de prueba tiene DISTRIBUCIÓN FISHER.

La hipótesis nula (H_0) dice que las varianzas son iguales $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ y la alternativa lo contrario. Para rechazar la hipótesis nula se debe probar que F sea mayor que $F(p, q, 1-\alpha/2)$ o que F sea menor que $F(p, q, \alpha/2)$.

P y Q son los grados de libertad y se calculan considerando los tamaños de la muestra 1 (n_1) y tamaño de la muestra 2 (n_2) restándole 1 respectivamente o sea $p=9$ y $q=9$. El α es el nivel de significancia, para nuestro caso 10%.

Buscando en una tabla de probabilidades de la Distribución Fisher los valores, se obtienen los $F(p, q, 1-\alpha/2)$, $F(p, q, \alpha/2)$.

En el anexo "E" se muestran los resultados del test de hipótesis para la comparación de varianzas y se adjuntan las tablas.

Teniendo todos estos datos se pueden hacer los test de hipótesis para la comparación de varianzas.

Recién ahora se puede hacer el test de hipótesis para comparación de medias

$$\mu_1 - \mu_2 \text{ con } \sigma_1^2 \text{ y } \sigma_2^2 \text{ desconocidas e iguales } (\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2)$$

La regla es esta:

$$\text{Estadística de Prueba } T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \sim t(v), \text{ donde } v = n_1 + n_2 - 2$$

Hipótesis Nula	Hipótesis Alternativa	Rechace H_0 si
$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	$T > t_{(v, 1-\alpha/2)}$ o $T < -t_{(v, 1-\alpha/2)}$

$$\text{Considérese. } S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Fuente: Instituto Tecnológico de Chihuahua.2005.

El estadístico de prueba T se distribuye T-Student y se calcula con las formulas de la regla.

Obteniendo el valor de T se procede a verificar si T mayor a $t(v, 1-\alpha/2)$ o que T sea menor que $t(v, \alpha/2)$.

Los $t(v, 1-\alpha/2)$, $t(v, \alpha/2)$ se buscan en una tabla de distribución t-Student que se adjunta en el anexo "E".

Por medio de el test de hipótesis se le esta dando validez estadística al ensayo esclerometrico.

De nueve pares de muestras del ensayo esclerometrico, a las que se les aplicó el test de hipótesis ocho de ellas arrojaron rechazo de H_0 , lo que significa que no existe evidencia muestral suficiente para afirmar con un 10% de significancia que las medias son iguales. Solo los pilares P 2-6 y P 2-8 arrojaron no rechazo de H_0 lo que significa que existe evidencia muestral suficiente para afirmar con un 10% de significancia que las medias son iguales.

Es por esto que la interpretación de este ensayo se basa en la homogeneidad de los elementos ensayados. Se puede afirmar entonces que los elementos ensayados no poseen una uniformidad

de dureza superficial a excepción de los pilares P 2-6 y P 2-8. Los otros pilares ensayados se encuentran con una dureza superficial que varía entre los distintos elementos, al igual que los muros y losa, lo cual se puede afirmar con un 10% de significancia bajo el test aplicado. Luego se puede inferir que se encuentran en distinto estado, lo que podría llevar a pensar por ejemplo que en la obra no se utilizó un mismo hormigón para los elementos estructurales o también que algunos elementos están más expuestos que otros a agentes agresivos.

Se adjunta en el anexo “A” los planos del primer y segundo nivel con los elementos ensayados.

Para la determinación de la velocidad de ultrasonido se preparó la superficie del hormigón al igual que en el ensayo esclerométrico. El criterio adoptado para la elección de los elementos estructurales a ensayar fue el de los elementos más expuestos a agresiones o en los cuales se observó o sospechó alguna patología tratando de abarcar las distintas zonas estructurales para tener una visión más completa del estado de la estructura. El equipo ultrasónico da a conocer el tiempo (microsegundos) en que la onda viaja desde un terminal a otro y como conocemos la distancia entre terminales podemos conocer la velocidad.

$$V = \frac{(d * 10^6)}{t} \quad (\text{m/seg.}).$$

4.5.2.-Resultados ensayo de ultrasonido. (Lecturas directas)

Elementos ensayados primer nivel.

Pilares.

Elemento	D (cm)	Tiempo (Mseg)	Velocidad(m/seg)
P1-1	40,13	114,9	3492,602263
P1-2	40,13	122	3289,344262
P1-3	40,13	134,9	2974,796145
P1-4	67	450,2	1488,227454

Muros.

Elemento	d (cm)	Tiempo (Mseg)	Velocidad(m/seg)
M1-1	27	104	2596,153846
	27	216,3	1248,266297
M 1-2	14,5	59,2	2449,324324
	14,5	53,4	2715,355805
M 1-3	20	68,7	2911,208151
	20	77,4	2583,979328

Losa y Viga.

Elemento	d (cm)	Tiempo (Mseg)	Velocidad(m/seg)
L 1-1	23	111,2	2068,345324
	23	78,4	2933,673469
	23	91,1	2524,698134
V1-1	26	246	1056,910569

Elementos ensayados segundo nivel.

Pilares.

Elemento	d (cm)	Tiempo (Mseg)	Velocidad(m/seg)
P2-1	26	172	1511,627907
P2-2	26	79	3291,139241
P2-3	26	290	896,5517241
P2-4	26	92,8	2801,724138
P2-5	40,632	127	3199,370079
P2-6	66,5	471,4	1410,691557

Muros.

Elemento	d (cm)	Tiempo (Mseg)	Velocidad(m/seg)
M 2-1	11	37,3	2949,061662
M 2-2	11,5	45,1	2549,889135
	11,5	45,1	2549,889135
M 2-3	11,5	57,5	2000

Con certeza podemos afirmar que a elementos ensayados que arrojaron un mayor tiempo entre terminales, son más porosos, menos homogéneos, menos compactos, con más huecos y en general se encuentran en un estado de deterioro mas avanzado que los otros elementos.

Se puede afirmar al haber aplicado este ensayo que no existe una homogeneidad en los distintos elementos ensayados. Acorde a la evaluación por medio de velocidad ultrasónica de Agraval²⁹ los elementos ensayados están en la siguiente condición.

ELEMENTO	V (m/seg)	CONDICION
P1-1	3492,60226	Buena
P1-2	3289,34426	Buena
P1-3	2974,79615	Regular
P1-4	1488,22745	Pobre
P2-1	1511,62791	Pobre
P2-2	3291,13924	Buena
P2-3	896,551724	Pobre
P2-4	2801,72414	Regular
P2-5	3199,37008	Buena
P2-6	1410,69156	Pobre
V1-1	1056,91057	Pobre
M1-1	2596,15385	Regular
M 1-2	2715,35581	Regular
M 1-3	2911,20815	Regular
M 2-1	2949,06166	Regular
M 2-2	2549,88914	Regular
M 2-3	2000	Pobre
L 1-1	2933,67347	Regular

Nota: Se adjunta en el anexo “A” los planos del primer y segundo nivel con los elementos ensayados.

Con los datos obtenidos del ensayo esclerometrico y el ensayo de ultrasonido es posible hacer una asociación para determinar una resistencia aproximada de cada elemento según la siguiente formula experimental³⁰.

$$\text{Log}(f) = 0,01149 * (\text{I.E.}) + 0,0003794 * (\text{Vd}) + 0,4332$$

Donde:

f : Resistencia aproximada del hormigón a compresión (kg/cm²).

I.E: Índice esclerometrico 0°.

Vd: Velocidad directa de ultrasonido (m/seg).

²⁹ Fuente: Ensayos no destructivos del hormigón.2006.

³⁰ Arnés.1977.

Resistencias aproximadas según asociación de ensayos.

Elemento	I.E.	Vd (m/seg)	f (kg/cm ²)
P1-1	46,6	3492,60226	196,6651
P1-2	48,4	3289,34426	172,7003
P1-3	48,6	2974,79615	131,9020
P1-4	40	1488,22745	28,6703
P2-1	47,6	1511,62791	35,7796
P2-2	55	3291,13924	205,9720
P2-4	50,2	2801,72414	118.2965
P2-5	54,2	3199,37008	186.1225
P2-6	45,4	1410,69156	30,9073
V1-1	47,4	1056,91057	23,9231
M1-1	43,6	2596,15385	83.0127
M 1-2	38,8	2715,35581	81.1368
M 1-3	46,2	2911,20815	117.0982
M 2-2	39,6	2549,88914	71,7186
M 2-3	32,8	2000	37.0571
L 1-2	44	2933,67347	112,6667

4.5.3.-Resultados de ensayo de fenofaleina.

El ensayo de fenofaleina, para determinar presencia de carbonatación se aplico a una muestra (testigo) de hormigón extraída del lado norte del edificio. La solución de 1% de fenofaleina en alcohol de 70° se preparo en el laboratorio de química de la universidad.

Se pulverizo esta solución sobre la muestra obteniendo en la mayor parte de esta un color púrpura y solo 15 mm de hormigón carbonatado. (Se adjuntan fotos de los ensayos en el anexo “B”)

4.5.4.-Patologías propias del edificio.

1.-Lo que llama la atención a una primera impresión es la cantidad de fisuras que posee el edificio por ejemplo en el muro de las gradas en el lado sur del edificio, el cual presenta un gran número de fisuras de distintos espesores y largos, también se aprecia corrosión en armaduras expuestas en la cual el acero se encuentra con una pérdida de sección del 25% aproximadamente, lo que claramente produce una disminución en su capacidad resistente.

2.-Se observa en el acceso por el corredor al ex-casino que el pilar esquinero presenta una grieta a lo largo de todo este, dividiéndolo al menos superficialmente en dos, la fisura se encuentra en estado avanzado.

3.-La viga 4 del corredor (de sur a norte) se encuentra con fisuras que atienden al tipo de fisuras por algún tipo de sollicitación en uno de sus extremos. La viga 5 presenta fisura en su extremo, aunque se desconoce la sollicitación causante se podría atribuir a un fenómeno sísmico o en último caso a corrosión de armaduras ya que se observa oxido en esta, así al aumentar el volumen el acero, este produjo tensiones internas que dieron origen a dicha falla. La viga 6 presenta similares observaciones.

4.-El muro del acceso norte presenta fisuraciones en casi toda su totalidad, hay una grieta en especial que mide 2.5mm el la cual se puede ver desde un lado a otro en algunas partes, esta se puede atribuir a un sismo o a un asentamiento. Es claro que el muro ya no trabajara en conjunto y no transmitirá esfuerzos debidamente ante otro sismo o a sollicitaciones.

Se observan fisuras en el muro que van desde 1-5mm.

5.-El pilar machón donde descansa la marquesina en el lado norte presenta disgregación y oxidación.

6.-El baño que se encuentra en los corredores presenta una fisura en la parte superior del vano que se conecta a las gradas de 1 mm, además se aprecia desprendimiento de hormigón y hongos en el cielo.

7.-En la bodega que se encuentra en el corredor acceso sur podemos observar claramente disgregación por oxidación en las armaduras en estado avanzado.

8.-Los pilares exteriores de acero se encuentran bajo presencia de oxidación.

9.-En el pilar que une escalera y losa, acceso al segundo nivel del edificio se observa grietas y disgregaciones en caras opuestas del pilar por un eventual estado de corrosión.

El estado de corrosión es total es decir el acero no posee resistencia alguna.

10.-En la viga perimetral de forma semicircular del lado poniente del edificio se observo un estado de humedad inminente, por lo cual se decidió examinar la zona de acuerdo a una inspección mediante picado del hormigón, así se hizo perforaciones en distintas zonas de la viga observándose corrosión localizada en grado medio y en otras en menor grado, además de algunas leves fisuras por el mismo fenómeno de corrosión.

11.-La losa a nivel de primer piso presenta humedad inminente en algunas zonas por el hecho de que la cubierta del edificio se encuentra en pésimo estado, esto a dado pie a filtración de agua desde el segundo nivel hacia el primero lo que ha producido oxidación en ella.

12.-La marquesina se encuentra deteriorada, a simple vista se observa que se filtran las aguas lluvias dejando ya de cumplir con uno de sus objetivos además de presentar manchas de oxidación. En lo que concierne a patologías se observa oxidación en las armaduras que a la vez se encuentran a la vista, fisuras, nidos de piedra, disgregación, desprendimiento del hormigón en algunas zonas, debido principalmente por la falta de recubrimiento y por estar la losa expuesta a la intemperie.

Nota: Se detallan los elementos por número en el anexo “A”.

4.5.5.-Soluciones Propuestas.

Dado que los ensayos de ultrasonido y esclerometrico son consistentes entre si, como se observa en la grafica del anexo “E”, se puede concluir que por medio de estos dos ensayos llegamos a un mismo diagnostico para el estado de los elementos.

Considerando la tabla de los estados del hormigón podemos proponer las siguientes soluciones:

-Para las fisuras en general en la mayoría de los casos producidas por tensiones internas debido al aumento de volumen de las armaduras por oxidación se pueden utilizar inyecciones de resinas Epoxi. Según la gravedad de la fisura la resina será más viscosa o menos viscosa. Posee excelente adherencia al hormigón y al acero además, de poseer una retracción menor que la del hormigón. También puede atenderse el problema por el sistema de grapado.

-Para los pilares exteriores una posible solución sería quitar la oxidación de estos y diseñar un refuerzo de hormigón armado circular con lo cual habría que revestir el mismo en la nueva armadura y proceder a hormigonar posteriormente.

La opción mas viable a mí parecer sería, considerando los años de uso que posee la estructura sería quitar los pilares existentes y cambiarlos por unos de mayor sección de acero galvanizado, tomando las precauciones al caso como es un adecuado uso de alzaprimas y apernarlos a la fundación.

- Para pilares con una muy baja resistencia como P 1-4, P 2-1, P 2-3, P 2-6, se puede optar por algún tipo de refuerzo dependiendo del nivel de oxidación, ya que si la oxidación en las armaduras es mayor a un 25% se recomienda el remplazo de las armaduras, sino aplicar refuerzo según sea el daño en el elemento a considerar.

-Para pilares con las armaduras en un estado avanzado de oxidación, como el pilar que une escalera y losa en el acceso al segundo nivel y el pilar machón del lado norte, una posible solución sería el sistema de anclajes de armaduras, que trata de anclar una nueva armadura en el hormigón existente realizando las funciones de perforación, soplado, relleno con resina y colocación de armadura.

-Para evitar la propagación de oxidación en la losa y pérdida de resistencia construir nuevamente o reparar la cubierta del edificio, para así evitar su inminente deterioro, ya que posee una resistencia aceptable.

-Una posible solución ante la magnitud de deterioro de la marquesina por su avanzado nivel de oxidación sería demoler la losa por presentar un peligro por posibles desprendimientos de material. Se podría demoler la losa y conservar las vigas existentes, que soporten una nueva estructura de cubierta que perfectamente podría ser una estructura metálica.

A continuación se presenta un análisis estructural de la solución propuesta para la marquesina.

Calculo de la sollicitación de la losa a la viga de hormigón.

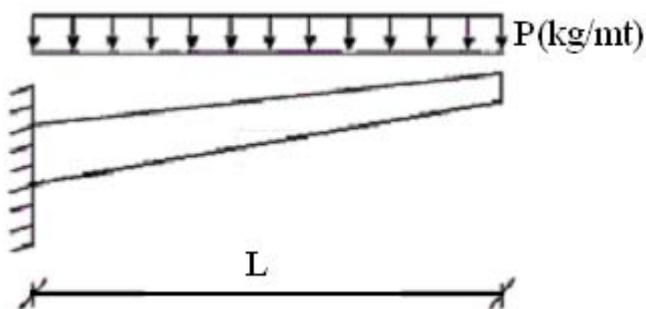
$e=8$ cm.

$\delta=2.4$ T/m³ (Densidad del hormigón armado)

$P_p=192$ kg/mt².

$B=4$ mt. \Rightarrow Tenemos

$P=192 \times 4=768$ kg/mt.



$L=11.3$ mt.

$$M_{LOSA} = \frac{P L^2}{2}$$

$$M_{LOSA} = \frac{768 \times 11.3^2}{2}$$

$$M_{LOSA} = 49.03 \text{ T*mt.}$$

Calculo de la sollicitación por la cubierta metálica propuesta.

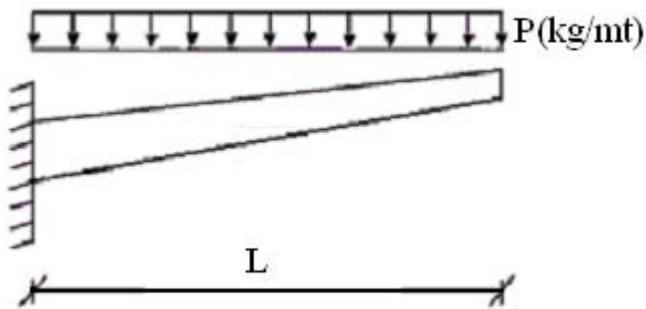
Viga metálica 150/150/5 → Pp=9.5 kg/mt².

Cubierta Instapanel PV6 → Pp=5.1 kg/mt².

$$\Rightarrow Pp_{TOTAL} = 14.6 \text{ kg/mt}^2.$$

B=4 mt. ⇒ Tenemos

$$P = 14.6 \times 4 = 58.4 \text{ kg/mt.}$$



$$L = 11.3 \text{ mt.}$$

$$M_{C.M.} = \frac{P L^2}{2}$$

$$M_{C.M.} = \frac{58.4 \times 11.3^2}{2}$$

$$M_{C.M.} = 3.73 \text{ T*mt.}$$

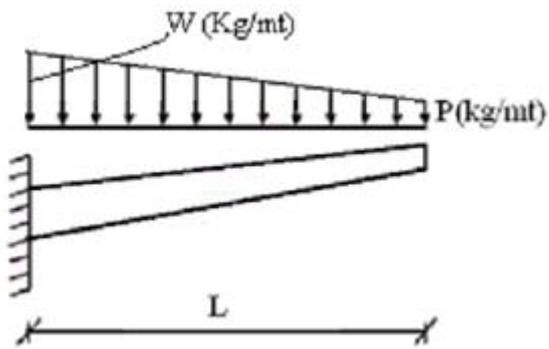
$$Fe = \frac{\Delta M}{0.7 \times d}$$

$$\Delta M = 45.3 \text{ T/mt.} \wedge d = 1.5 \text{ mt.}$$

$$\Rightarrow Fe = \frac{4530}{0.7 \times 150}$$

$$Fe = 43.14 \text{ cm}^2 \text{ . (Estimativo)}$$

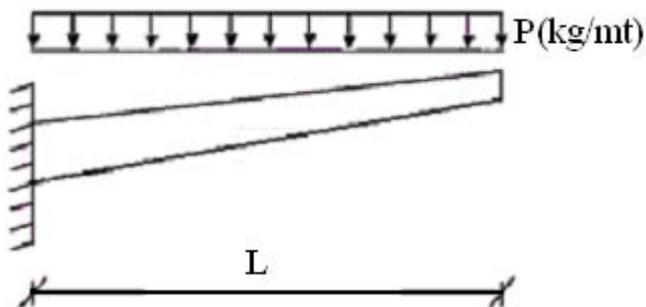
También podemos estimar el momento que solicita a la viga por peso propio.



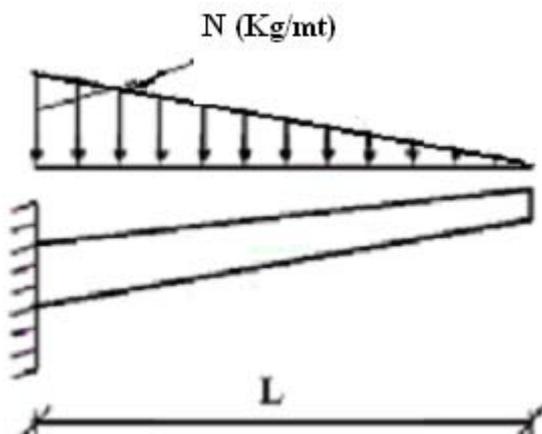
$$W = 2.4 \times 1.5 \times 0.4 = 1.44 \text{ T/mt.}$$

$$P = 2.4 \times 0.3 \times 0.4 = 0.288 \text{ T/mt.}$$

Descomponiendo la carga distribuida trapecial tenemos:



$$M_{\text{VIGA}} = \frac{P L^2}{2} = \frac{(0.288 \times 11.3^2)}{2} = 18.38736 \text{ T*mt.}$$



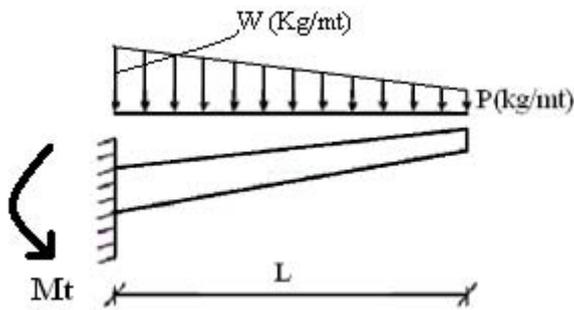
$$N=W-P=1.152 \text{ T/mt.}$$

$$\frac{N}{L} = \frac{P(X)}{X} \Rightarrow P(X) = \frac{N \times X}{L}$$

$$M_{VIGA} = P(X) \times \frac{X}{2} \times \frac{X}{3} = \frac{N \times X^3}{6 \times L}$$

$$M_{VIGA} = \frac{N \times L^2}{6} = \frac{1.152 \times 11.3^2}{6} = 24.51648 \text{ T*mt.}$$

$$\Rightarrow M_{total\ VIGA} = 18.38736 + 24.51648 = 42.9 \text{ T*mt.}$$



Como la viga actúa con la losa tenemos:

$$M_{LOSA} = 49.03 \text{ T*mt.}$$

$$M_{total\ VIGA} = 42.9 \text{ T*mt.}$$

$$\Rightarrow M_{TOTAL} = 49.03 + 42.9 = 91.93 \text{ T*mt.}$$

$$Fe = \frac{M}{0.7 \times d}$$

$$Fe = \frac{91.93}{0.7 \times 1.5} = 87.5 \text{ cm}^2 \text{ . (Estimativo)}$$

CAPITULO V: CONCLUSIONES.

En la presente investigación de acuerdo a lo observado y analizado se ha llegado a las siguientes conclusiones:

-El ensayo de fenoftaleína arrojó una profundidad de carbonatación de 1.5 cm. De aquí se concluye que el avance del frente de carbonatación se produce desde la superficie expuesta hacia el interior del hormigón armado.

-La profundidad de carbonatación es pequeña, debido a que la mayor parte del tiempo algunas zonas de la estructura están protegidas por la humedad relativa del aire en Valdivia (humedad media > 80%³¹), que da pie a que los poros en el hormigón estén llenos de humedad y no permitan el paso del dióxido de carbono hacia el interior del hormigón. Otra razón puede ser la baja concentración de CO₂ en la zona.

-El edificio podría estar en mejores condiciones con un mínimo mantenimiento. Se recomienda un tratamiento superficial, con algún tipo de mortero sellante (Sika) y pintura para proteger el hormigón.

-El edificio presenta patologías en alrededor de un 20% de su totalidad.

-El edificio en general presenta un estado de conservación aceptable para las intenciones de ser remodelado para cualquier uso que se le quiera dar, sobre todo el edificio en si, es decir, excluyendo el sector de la marquesina.

-El edificio en si, sólo necesita de reparaciones menores a excepción de algunas zonas puntuales donde existe corrosión localizada, lo que ha producido en este tensiones internas que son causales de fisuras o descascaramiento en el hormigón. Estas patologías presentes se deberán reparar con resinas Epoxi o morteros estructurales del tipo Sika de acuerdo a especificaciones del fabricante, sin embargo la oxidación localizada se deberá tratar con el picado del hormigón para un posterior limpiado por medio de bombeo de arena y luego aplicar una película protectora a las armaduras para su posterior hormigonado.

³¹ Dirección Metereologica de Chile.2006

-Los pilares del sector poniente (exteriores) del edificio deberán ser reemplazados por presentar oxidación, por otros de igual sección en lo posible de acero galvanizado, al igual que el pilar de escalera para el acceso al segundo nivel.

-Para los pilares que presentan sus armaduras en un estado avanzado de oxidación como el de escalera y el machón del lado norte, se recomienda aplicar el sistema de anclajes de armaduras, que trata de anclar una nueva armadura en el hormigón existente realizando las funciones de perforación, soplado, relleno con resina y colocación de armadura para su posterior hormigonado.

- Para pilares con una muy baja resistencia como P 1-4, P 2-1, P 2-3, P 2-6, se puede optar por algún tipo de refuerzo dependiendo del nivel de oxidación, ya que si la oxidación en las armaduras es mayor a un 25% se recomienda el reemplazo de las armaduras, sino aplicar refuerzo según sea el daño en el elemento a considerar.

- La estructura de la marquesina se encuentra bastante deteriorada por el estado avanzado de corrosión que presenta, entre otras patologías, que son sin duda un peligro inminente por posibles desprendimientos de materiales debido a problemas patológicos propios de los materiales o también por una posible sollicitación sísmica. Se concluye demolerla dejando las vigas existentes de hormigón para soportar una nueva estructura de cubierta.

-Se propone un esquema de solución para modificar la marquesina según lo indicado en el anexo "C", se adjunta un presupuesto estimativo.

-La solución propuesta es viable ya que estaríamos quitando peso propio a la estructura con lo cual aseguraríamos una menor sollicitación a las vigas y pilares de la estructura.

Además se calculo estructuralmente las sollicitaciones actuales de las vigas y se llego a la conclusión de que con la solución propuesta las vigas tienen un factor de seguridad 2, lo que se traduce teóricamente en que el estado de oxidación de estas podría ser de un 50% del total y aun estarían soportando la estructura.

REFERENCIAS.

Libros

- FERNANDEZ. C, M.1977."Patología y terapéutica del hormigón armado".En su: Patología de los materiales. Madrid, Dossat. Vol.1.Pp.41-45.
- FERNANDEZ. C, M.1977."Patología y terapéutica del hormigón armado".En su: Patología del hormigón armado. Madrid, Dossat. Vol.1.Pp.53-58.
- ZABALETA. G. H.1988."Compendio de tecnología del hormigón". En su: Control de calidad de obras de hormigón. Instituto Chileno del cemento y del hormigón. Vol.1.Pp.103-105.

Internet.

- Barrera, H. 2003. La carbonatación en edificios de Santiago. Disponible en: http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar_HorPer_RamSan.pdf. Consultado en Marzo del 2006.
- Buron. M, M.2005.Resistencia al fuego de las estructuras de hormigón. Disponible en: http://www.asocem.org.pe/Resistencia_estructuras_hormigon_CH-873.pdf. Consultado en Mayo del 2006.
- Colegio de Arquitectos de Málaga.2005. Estructuras de hormigón .Disponible en: http://www.google.com.ar/search?as_q=ESTRUCTURAS+DE+HORMIG%C3%93N+PATOLOG%C3%8DAS+MAS+FRECIENTES+Y+SOLUCIONES+Colegio+Arquitectos+de+M%C3%A1laga+Abril+2005&num=10&hl=es&btnG=B%C3%BAqueda+en+Google&as_epq=&as_oq=&as_eq=&lr=&as_ft=i&as_filetype=ppt&as_qdr=all&as_occt=body&as_dt=i&as_sitesearch=&as_rights=&safe=images. Consultado en Febrero del 2006.
- Comportamiento de los materiales de construcción ante la incidencia del fuego. 2006. Disponible en: http://www.belt.es/expertos/HOME2_experto.asp?id=653. Consultado en Mayo del 2006.
- Daños a elementos estructurales por esfuerzo de flexión. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia35.pdf>. Consultado en marzo del 2006.

- Daños a elementos estructurales por esfuerzo cortante. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia30.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Daños a elementos estructurales por esfuerzo normal. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia29.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Daños a elementos estructurales por esfuerzo rasante. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia33.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Daños a elementos estructurales por punzonamiento. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia32.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Daños a elementos estructurales por esfuerzo de torsión. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia34.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Daños en edificación debido a terremotos. 2001. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org/pefn/gmartin/gmartin04.htm>. Consultado en Febrero del 2006.
- Determinación del índice esclerometrico. 2006. Disponible en: <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/indiceT7.htm>. Consultado en Julio del 2006.
- Dirección Metereologica de Chile. 2006. Disponible en: http://www.meteochile.cl/climas/climas_decima_region.html#a. Consultado en octubre del 2006.
- Eflorescencias en fachada. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia43.pdf>: Consultado en Marzo del 2006.
- Ensayos no destructivos del hormigón. 2006. Disponible en: <http://icc.ucv.cl/hormigon/ultrasonido.doc>. Consultado en Junio del 2006.
- Estructuras afectadas por aluminosis. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia44.pdf>: Consultado en Marzo del 2006.
- Evaluación de la resistencia del hormigón. 2006. Disponible en: <http://www.melon.cl/imagenes/tecnotips.pdf>. Consultado en Julio del 2006.

- Holgren. A and J. Plummer. 2006. Comentarios sobre la norma Chilena para testigos de hormigón. Disponible en: http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/ArtuHolm_JesiPolmer.pdf. Consultado en Junio del 2006.
- Instituto Tecnológico de Chihuahua. 2005. Distribución F de Fisher. Disponible en: <http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap03c.html>. Consultado en Febrero del 2006.
- Instituto Tecnológico de Chihuahua. 2005. Distribución t-Student. Disponible en: <http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap03.html>. Consultado en Febrero del 2006.
- Monferrer. B, S. 2005. Patologías producidas en la edificación. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/patologias-producidas-en-la-dificacion.html>. Consultado en febrero del 2006.
- Oyarzabal. S, C. 2006. Fisuración del hormigón. Disponible en: <http://forjados.iespana.es/patologia/FisuracionHormigon.pdf>. Consultado en diciembre del 2005.
- Patologías en puentes. 2005. Disponible en: http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1019104-180231//06Jhsr06de21.pdf. Consultado en Abril del 2006.
- Patologías por acciones sísmicas. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia19.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Patologías por defectos de ejecución. 2005. Disponible en: <http://www.asefa.es/repositorio/paginas/pdf/patologia40.pdf>. Consultado en Marzo del 2006.
- Pérez. V, J. 2000. Patologías de estructuras de hormigón armado. Disponible en: <http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Patologia/trasparencias%20patologia.pdf>. Consultado en diciembre del 2005.
- Tablas estadísticas. 2004. Disponible en: http://www.dim.uchile.cl/doc/MA34B/tablas_esta.pdf. Consultado en Febrero del 2006.

-Terremotos en Chile 2006. Disponible en:
<http://www.angelfire.com/nt/terremotos/chilehistoria.html>. Consultado en Julio del 2006.

Norma Chilena INN.

-Áridos para morteros y hormigones-Tamizado y determinación de la granulometría. Nch 165 Of 77.

- Áridos para morteros y hormigones-Determinación del material fino menor a 0.080mm.Nch 1223 Of 77.

-Cemento-Terminología, clasificación y especificaciones generales. NCh 148 of 68.

- Hormigón-Agua de amasado-requisitos. NCh 1498 Of 82.

- Hormigón-Determinación del índice esclerometrito. Nch 1565 Of 79.

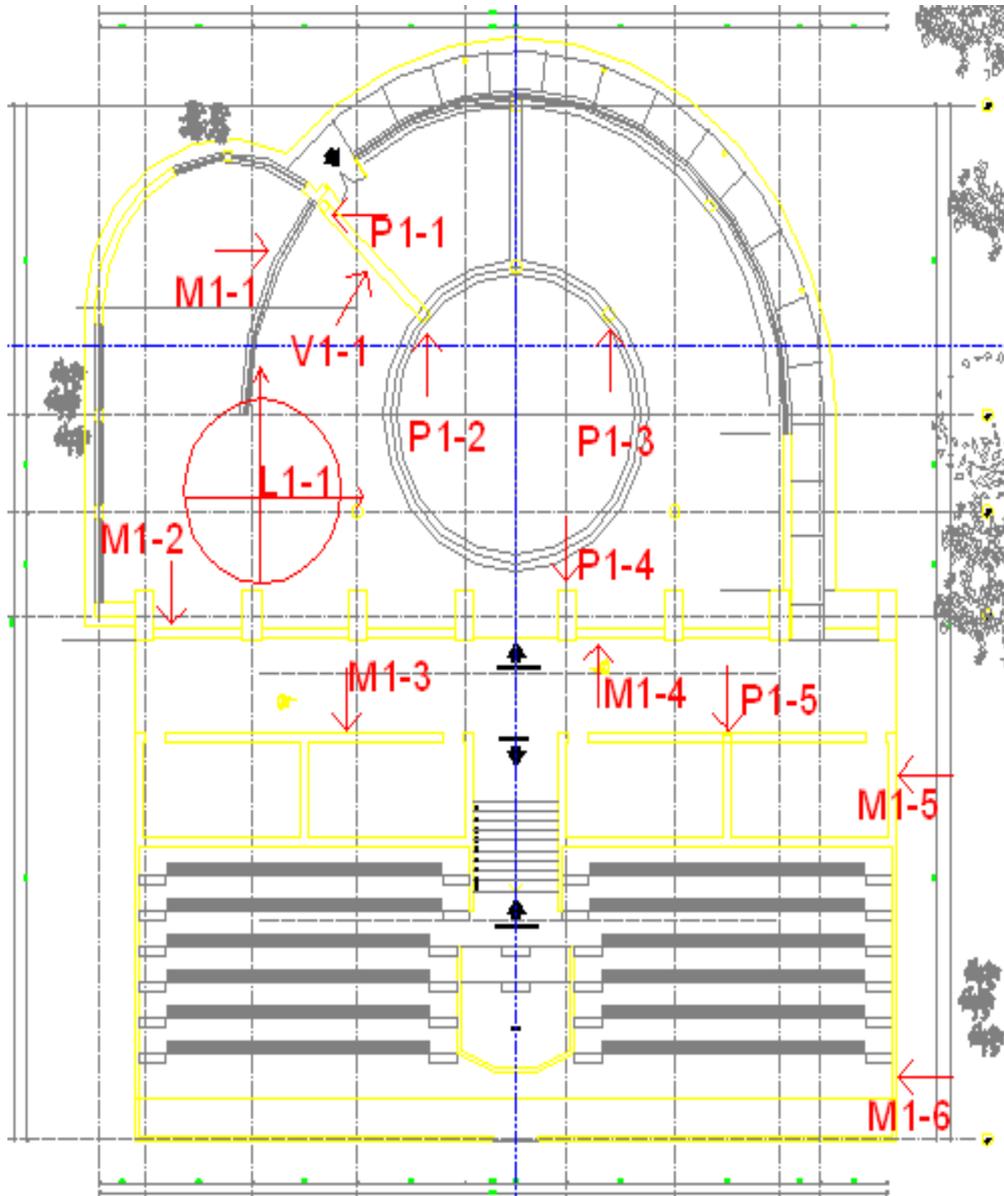
Tesis.

-Arnés. H.1977.Ensayos no destructivos de hormigón; Ecuaciones de relación de resistencia probable y medidas entregadas por los equipos. Memoria de título de ingeniero civil. Santiago, Univ. Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 120 p.

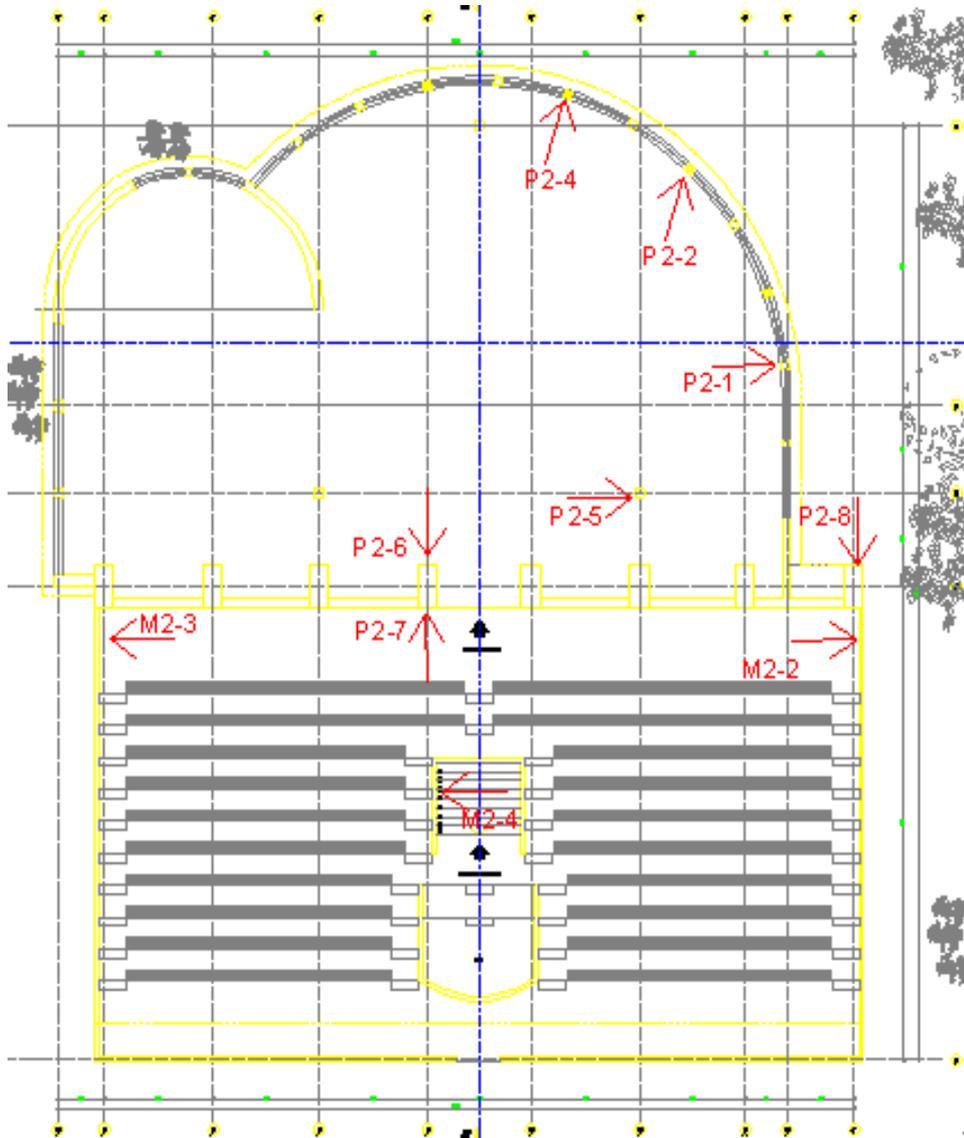
“ANEXO A”

ELEMENTOS ESTRUCTURALES ENSAYADOS.

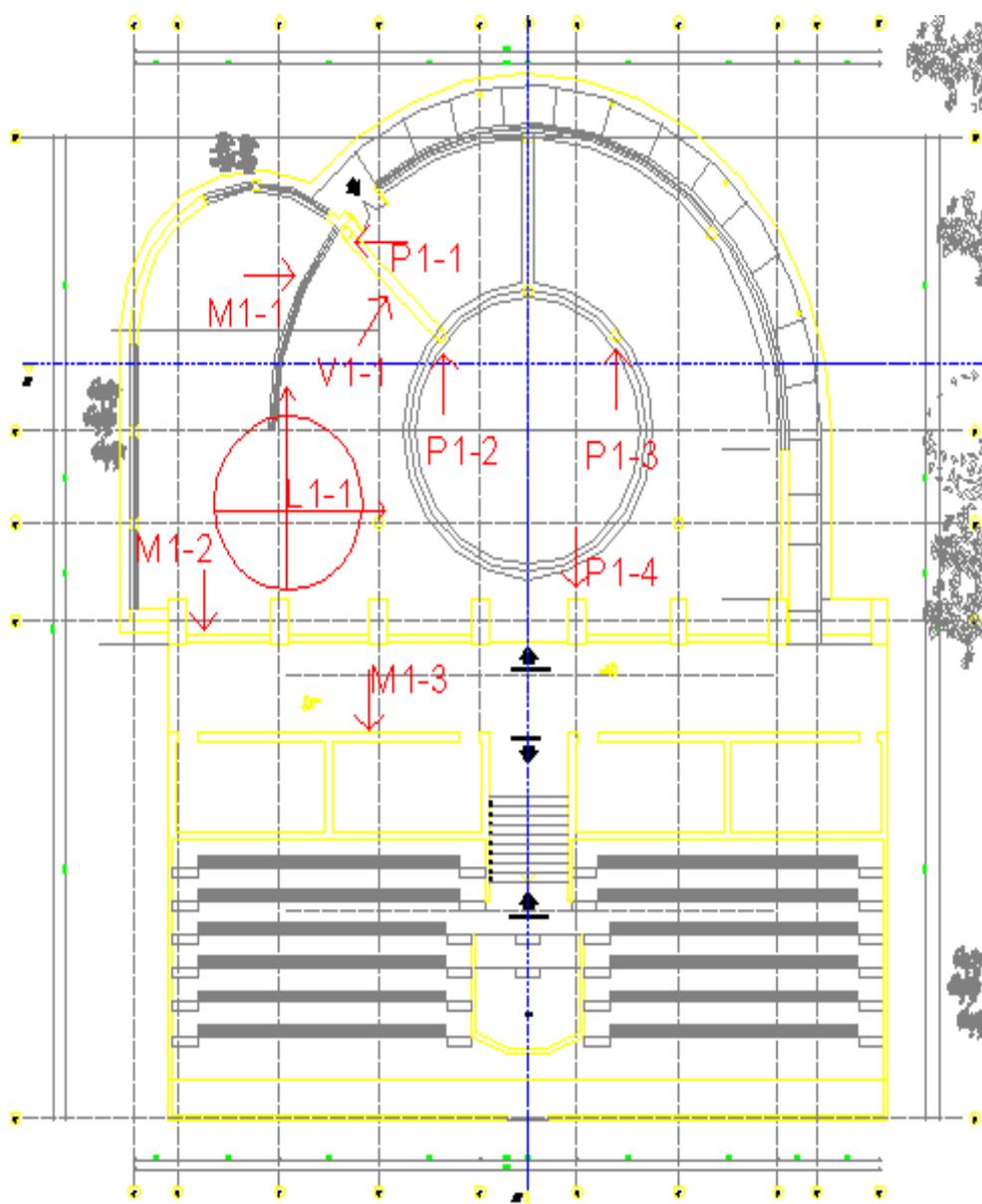
ENSAYO ESCLEROMETRICO APLICADO A LOS SIGUIENTES ELEMENTOS
PRIMER NIVEL



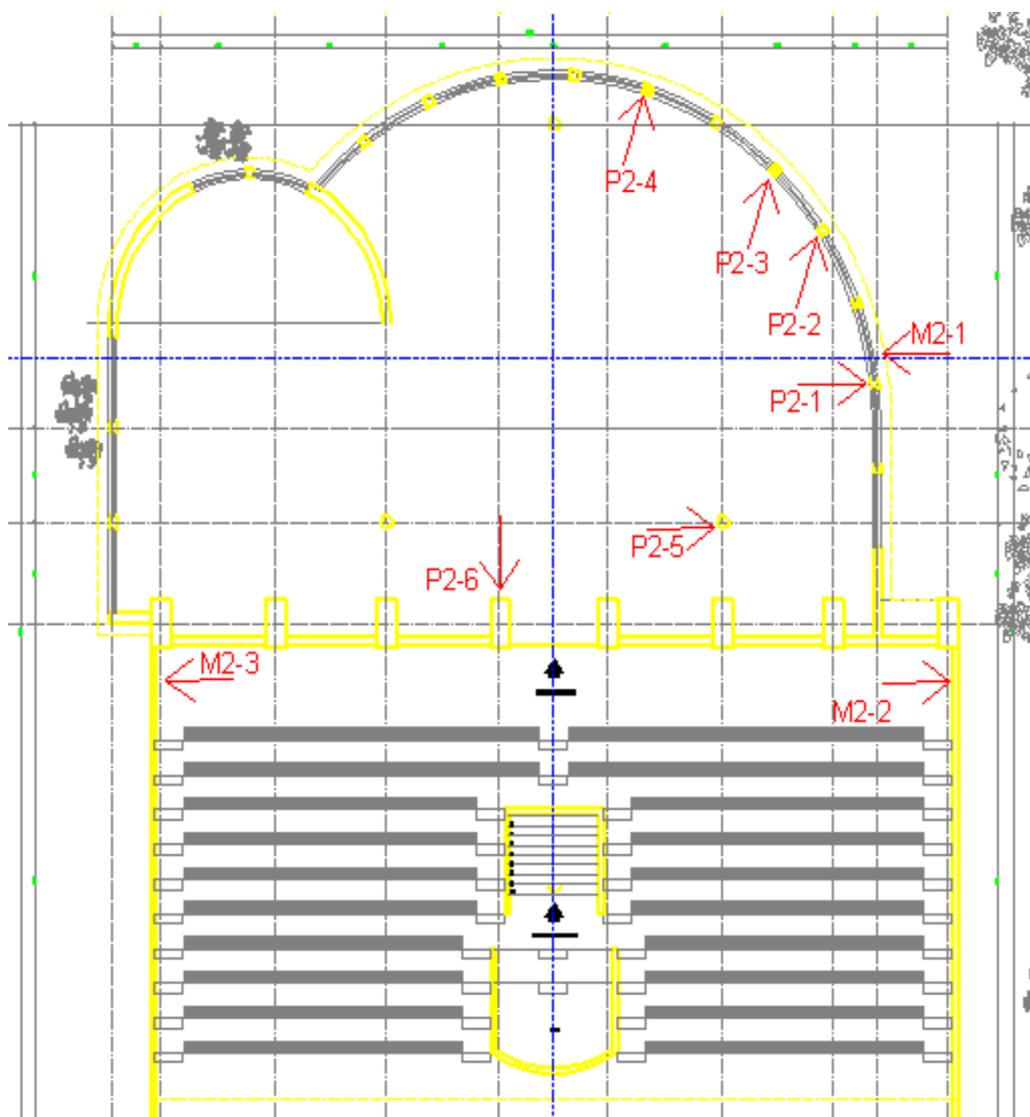
ENSAYO ESCLEROMETRICO APLICADO A LOS SIGUIENTES ELEMENTOS
SEGUNDO NIVEL



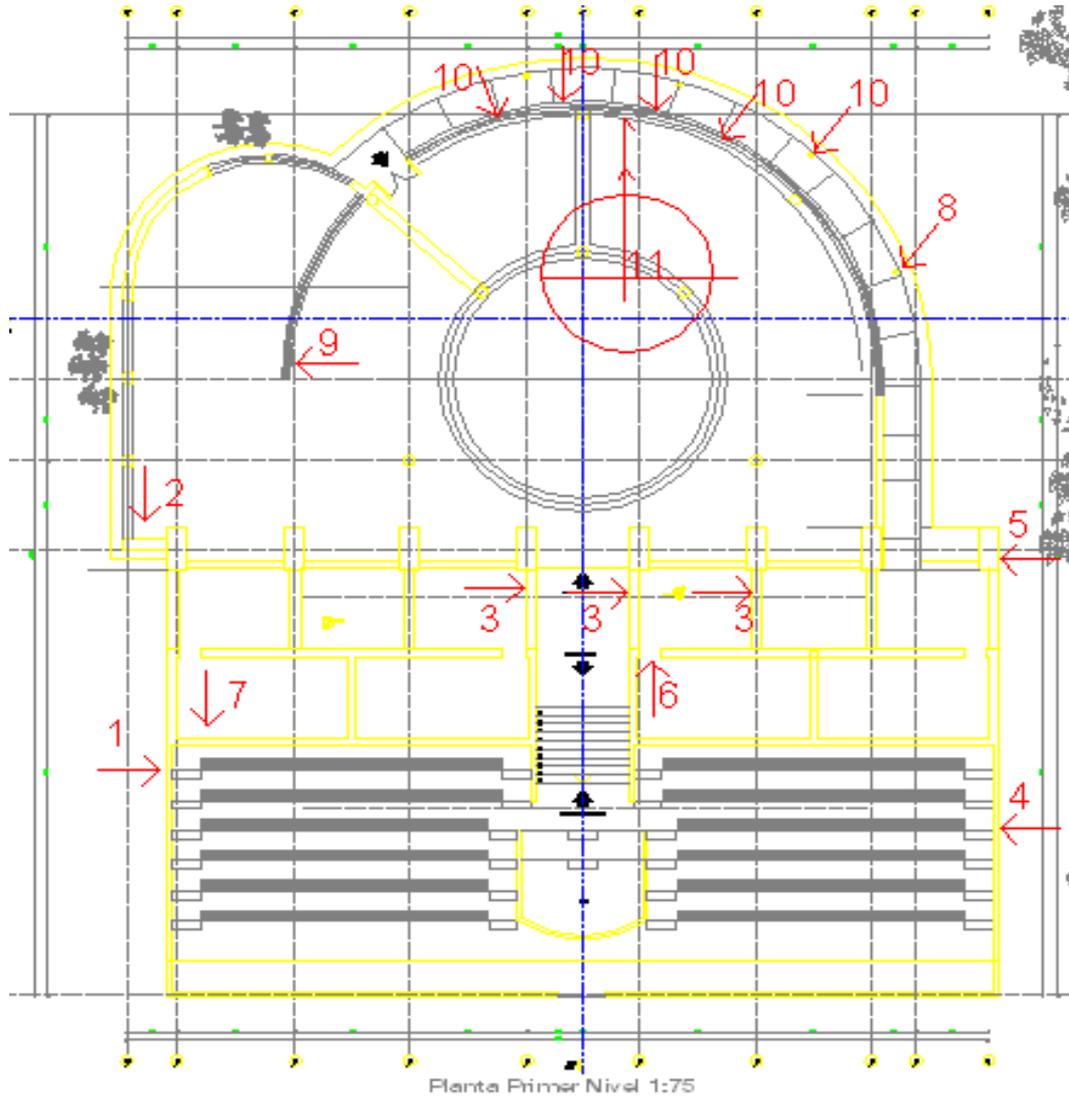
ENSAYO ULTRASONIDO APLICADO A LOS SIGUIENTES ELEMENTOS
PRIMER NIVEL.



ENSAYO ULTRASONIDO APLICADO A LOS SIGUIENTES ELEMENTOS
SEGUNDO NIVEL.



PLANO INSPECCION VISUAL PATOLOGIAS PROPIAS DEL EDIFICIO.



“ANEXO B”

FOTOGRAFIAS DE ENSAYOS APLICADOS A LA ESTRUCTURA.



ENSAYO ESCLOEROMETRICO APLICADO A PILARES.



PREPARACION DE SUPERFICIE PARA ENSAYO ESCLEROMETRICO.



ENSAYO ESCLEROMETRICO APLICADO A UNA VIGA.



ENSAYO ESCLEROMETRICO APLICADO A UN PILAR.



ENSAYO ESCLEROMETRICO APLICADO A UN MURO.



EXTRACCION DE TESTIGO DE HORMIGON ARMADO MURO NORTE.

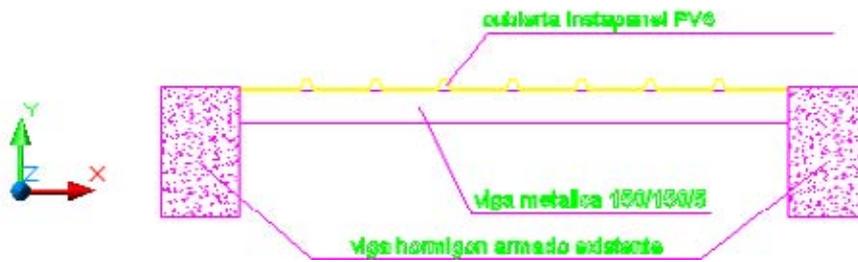
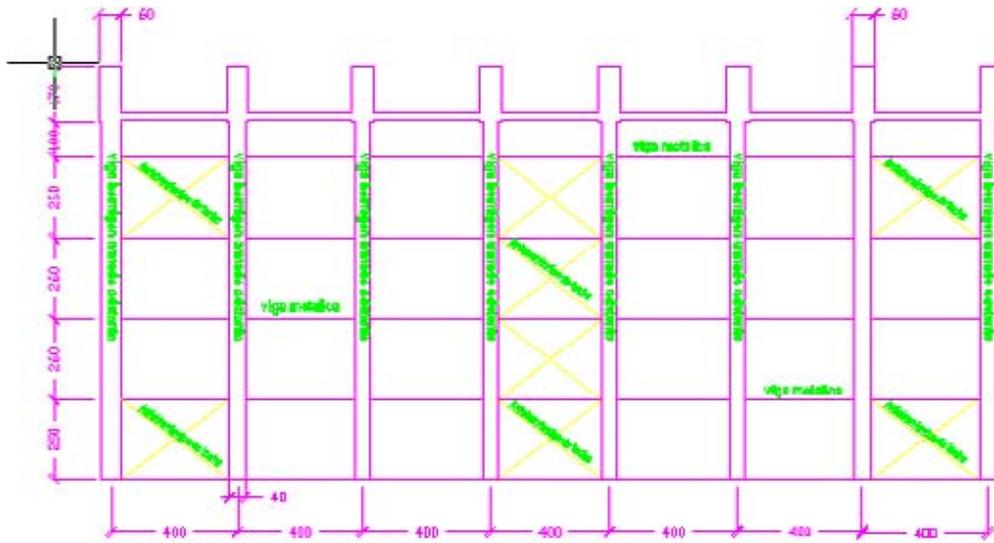


ENSAYO DE FENOFTALEINA APLICADO A TESTIGO DE HORMIGON.

“ANEXO C”

SOLUCION PROPUESTA MARQUESINA.

SOLUCION PROPUESTA MARQUESINA.



PRESUPUESTO ESTIMATIVO.

ELEMENTO	UNIDAD	\$/UNIDAD	CANTIDAD	\$ TOTAL
PV6	mt ² .	6264	322	2017008
Viga metálica	mt.	20000	140	2800000
Demolicion hormigon	mt ³ .	56500	26	1469000
				\$ 6,286,008

“ANEXO D”

FOTOGRAFIAS EDIFICIO.



VISTA PANORAMICA MARQUESINA.



FISURAS MURO NORTE.



PILAR CORROSIONADO LADO PONIENTE.



VIGA DEL CORREROR FISURADA.



ARMADURA PRINCIPAL Y ESTRIBOS DE PILAR CORROSIONADOS.



CORROSION LOCALIZADA EN VIGA PERIMETRAL.



EFFECTO DE DISGREGACION PRODUCIDO POR CORROSION DE ARMADURAS.



FISURAMIENTO DE PILAR POR INMINENTE CORROSION.



DISGREGACION, NIDOS DE PIEDRA Y CORROSION EN LOSA MARQUESINA.



DISGREGACION, NIDOS DE PIEDRA Y CORROSION EN LOSA MARQUESINA.

“ANEXO E”

RESULTADOS ANALISIS ESTADISTICO.

TEST DE HIPOTESIS PARA LAS RAZONES DE VARIANZAS.

F-Test Two-Sample for Variantes.

Ho: Varianzas iguales.

H1: Varianzas distintas.

Se rechaza Ho: si $F > F(9,9,95\%) \vee F < F(9,9,5\%)$

	P 1-1	P 1-2
	Variable 1	Variable 2
Mean	46,6	48,4
Variance	5,15555556	7,15555556
Observations	10	10
df	9	9
F	0,72049689	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	P 1-3	P1-4
	Variable 1	Variable 2
Mean	48,6	40
Variance	6,933333333	10
Observations	10	10
df	9	9
F	0,693333333	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	P 2-1	P 2-4
Mean	47,6	50,2
Variance	9,82222222	9,06666667
Observations	10	10
df	9	9
F	1,08333333	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	P 2-6	P 2-7
Mean	45,4	48,4
Variance	4,266666667	8,044444444
Observations	10	10
df	9	9
F	0,53038674	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	P 2-6	P 2-8
Mean	45,4	44,4
Variance	4,266666667	7,155555556
Observations	10	10
df	9	9
F	0,596273292	

F(9,9,95%)	3,179
F(9,9,5%)	0,315

	M 1-1	M 1-2
Mean	43,6	38,8
Variance	5,377777778	3,955555556
Observations	10	10
df	9	9
F	1,359550562	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	M 1-3	M 1-4
Mean	46,2	52,8
Variance	7,28888889	11,0666667
Observations	10	10
df	9	9
F	0,65863454	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	M 2-2	M 2-3
Mean	39,6	32,8
Variance	10,71111111	6,622222222
Observations	10	10
df	9	9
F	1,617449664	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

	L 1-1	L 1-2
Mean	55	47,6
Variance	7,11111111	8,93333333
Observations	10	10
df	9	9
F	0,7960199	
F(9,9,95%)	3,179	
F(9,9,5%)	0,315	

Resultados.

Comparacion de varianzas		Test de hipotesis
<i>P 1-1</i>	<i>P 1-2</i>	No Rechazo Ho
<i>P 1-3</i>	<i>P1-4</i>	No Rechazo Ho
<i>P 2-1</i>	<i>P 2-4</i>	No Rechazo Ho
<i>P 2-6</i>	<i>P 2-7</i>	No Rechazo Ho
<i>P 2-6</i>	<i>P 2-8</i>	No Rechazo Ho
<i>M 1-3</i>	<i>M 1-4</i>	No Rechazo Ho
<i>M 1-1</i>	<i>M 1-2</i>	No Rechazo Ho
<i>M 2-2</i>	<i>M 2-3</i>	No Rechazo Ho
<i>L 1-1</i>	<i>L 1-2</i>	No Rechazo Ho

Existe evidencia muestral suficiente para afirmar con un 10% de significancia que las Varianzas son iguales pero desconocidas en todos los casos.

TEST DE HIPOTESTS PARA LA DIFERENCIA DE MEDIAS.

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances.

Ho: medias iguales.

H1: medias distintas.

Se rechaza Ho: si $t \text{ Stat} > t(18,95\%)$ o $t \text{ Stat} < t(18,5\%)$

	<i>P 1-1</i>	<i>P 1-2</i>
Mean	46,6	48,4
Variance	5,155556	7,155556
Observations	10	10
Pooled Variance	6,155556	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	-1,62227	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>P 1-3</i>	<i>P1-4</i>
Mean	48,6	40
Variance	6,933333	10
Observations	10	10
Pooled Variance	8,466667	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	6,60887	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>P 2-1</i>	<i>P 2-4</i>
Mean	47,6	50,2
Variance	9,822222	9,066667
Observations	10	10
Pooled Variance	9,444444	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	-1,89178	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>P 2-6</i>	<i>P 2-7</i>
Mean	45,4	48,4
Variance	4,266667	8,044444
Observations	10	10
Pooled Variance	6,155556	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	-2,70379	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>P 2-6</i>	<i>P 2-8</i>
Mean	45,4	44,4
Variance	4,266667	7,155556
Observations	10	10
Pooled Variance	5,711111	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	0,935674	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>M 1-1</i>	<i>M 1-2</i>
Mean	43,6	38,8
Variance	5,377778	3,955556
Observations	10	10
Pooled Variance	4,666667	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	4,968472	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>M 1-3</i>	<i>M 1-4</i>
Mean	46,2	52,8
Variance	7,288889	11,06667
Observations	10	10
Pooled Variance	9,177778	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	-4,87147	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>M 2-2</i>	<i>M 2-3</i>
Mean	39,6	32,8
Variance	10,71111	6,622222
Observations	10	10
Pooled Variance	8,666667	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	5,164971	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

	<i>L 1-1</i>	<i>L 1-2</i>
Mean	55	47,6
Variance	7,111111	8,933333
Observations	10	10
Pooled Variance	8,022222	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	18	
t Stat	5,842105	
t(18,95%)	1,734064	
t(18,5%)	0,57668	

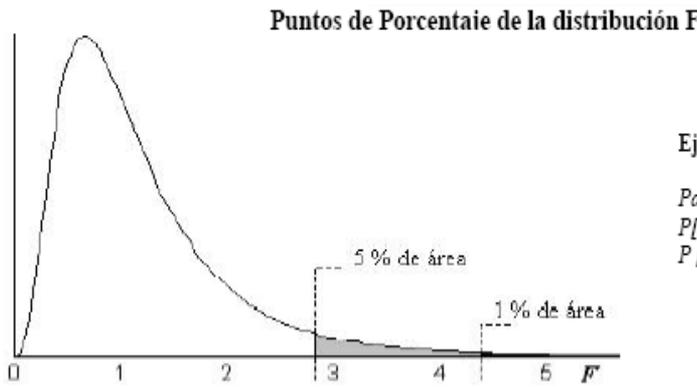
Resultados.

Comparación de medias		Test de hipótesis
P 1-1	P 1-2	Rechazo Ho
P 1-3	P 1-4	Rechazo Ho
P 2-1	P 2-4	Rechazo Ho
P 2-6	P 2-7	Rechazo Ho
P 2-6	P 2-8	No Rechazo
M 1-3	M 1-4	Rechazo Ho
M 1-1	M 1-2	Rechazo Ho
M 2-2	M 2-3	Rechazo Ho
L 1-1	L 1-2	Rechazo Ho

Rechazo Ho: No existe evidencia muestral suficiente para afirmar con un 10% de significancia que las medias son iguales.

No Rechazo: Existe evidencia muestral suficiente para afirmar con un 10% de significancia que las medias son iguales.

Tabla de distribución F de Fisher.



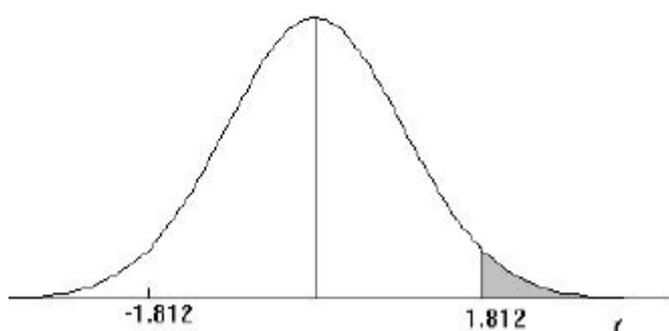
Ejemplo:

Para $n_1 = 9, n_2 = 12$ grados de libertad:
 $P[F > 2.80] = 0.05$
 $P[F > 4.39] = 0.01$

n_2	5% (normal) y 1% (negritas) puntos para la distribución de F																																															
	n_1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞																								
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6107	6143	6170	6209	6234	6260	6286	6302	6324	6334	6350	6360	6366
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.48	19.49	19.49	19.49	19.50	98.50	99.00	99.16	99.25	99.30	99.33	99.36	99.38	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.44	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.48	99.49	99.49	99.50	99.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.78	8.74	8.71	8.69	8.66	8.64	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69	26.60	26.50	26.41	26.35	26.28	26.24	26.18	26.15	26.13
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.18	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.87	5.84	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.25	14.15	14.02	13.93	13.84	13.75	13.69	13.61	13.58	13.52	13.49	13.46
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56	4.53	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55	9.47	9.38	9.29	9.24	9.17	9.13	9.08	9.04	9.02
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96	3.92	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60	7.52	7.40	7.31	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.93	6.90	6.88
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53	3.49	3.44	3.41	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.36	6.28	6.16	6.07	5.99	5.91	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.24	3.20	3.15	3.12	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.56	5.48	5.36	5.28	5.20	5.12	5.07	5.00	4.96	4.91	4.88	4.86
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.03	2.99	2.94	2.90	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.01	4.92	4.81	4.73	4.65	4.57	4.52	4.45	4.41	4.36	4.33	4.31
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.86	2.83	2.77	2.74	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.60	4.52	4.41	4.33	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.96	3.93	3.91

Tabla de distribución t-Student.

Puntos de porcentaje de la distribución t



Ejemplo

Para $\phi = 10$ grados de libertad:

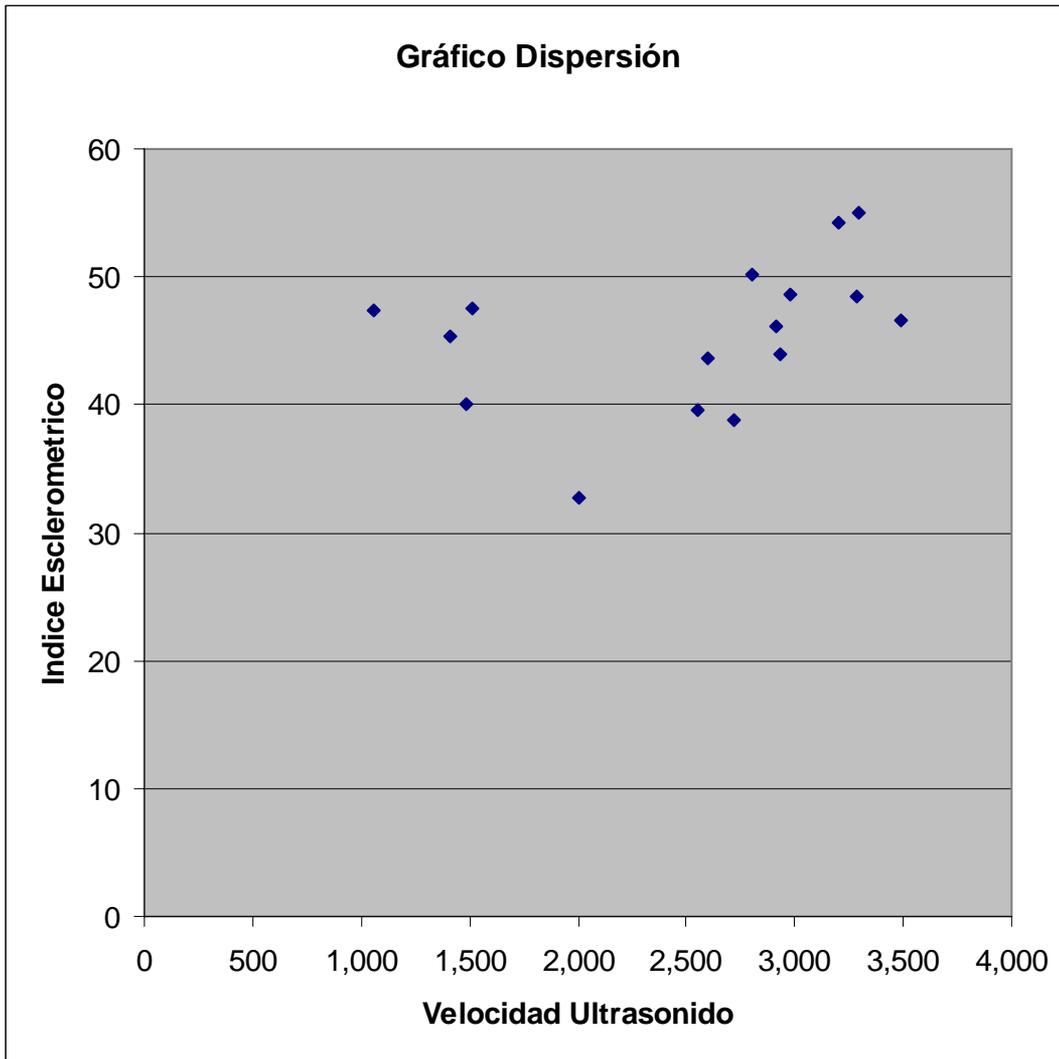
$$P[t > 1.812] = 0.05$$

$$P[t < -1.812] = 0.05$$

α Γ	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,658	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,800
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,908	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,898	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,567
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646

Fuente: Tablas estadísticas 2004.

GRAFICO DE CORRELACION ENTRE INDICE ESCLEROMETRICO Y VELOCIDAD DE ULTRASONIDO.



“ANEXO F”

PLANOS DEL EDIFICIO.

(Planos en documento impreso. Biblioteca Miraflores, Universidad Austral de Chile)