

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



***CORROSION EN ESTRUCTURAS DE
CONCRETO ARMADO***

INFORME DE INGENIERIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

VICTOR RAUL VERANO PORTA

Lima - Perú

2001

DEDICATORIA:

A MIS PADRES: Quienes con tanto esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera profesional de Ingeniero Civil.

A MIS HERMANOS: Quienes con su apoyo moral no dejaron que desmaye en mis propósitos.

A MI ESPOSA: Quien con paciencia, esfuerzo y comprensión en los momentos difíciles me apoyó a culminar el presente Informe.

AGRADECIMIENTO:

A todos quienes de una u otra forma han hecho posible efectuar este trabajo.

A mis profesores, quienes destinan su valioso tiempo a la Universidad impartiendo sus conocimientos y orientación para forjar Ingenieros con bases sólidas.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Alma Mater de mi preparación profesional, de quien me siento orgulloso de salir de sus aulas.

A mi asesor, Ing. Oscar Casas Davila por su confianza depositado en mi persona y apoyo en la elaboración del presente Informe de Ingeniería.

INDICE

TEMA: CORROSION EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

INTRODUCCION

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS SOBRE CORROSION DE ARMADURAS.

1.1 GENERALIDADES

1.2 APLICACIÓN DEL TERMINO CORROSION AL CONCRETO

1.3 FUNDAMENTOS SOBRE CORROSION EN ARMADURAS

CAPITULO II

TIPOS DE CORROSION.

2.1 CORROSION AL REFUERZO DE ACERO

2.2 CORROSION DEL CONCRETO

2.3 CORROSION DE MATERIALES EMBEBIDOS.

CAPITULO III

*FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSION EN
EL CONCRETO ARMADO.*

3.1 FACTORES DE DETERIORO EN EL REFUERZO

3.2 FACTORES DE DETERIORO EN EL CONCRETO

CAPITULO IV

*METODO DE PREVENCION Y PROTECCION CONTRA LA
CORROSION.*

4.1 PROTECCION DIRECTA DEL ACERO

4.2 *PROTECCION INDIRECTA A TRAVES DEL CONCRETO*

4.3 *MEDIDAS DE PREVENCION*

CAPITULO V

PROBLEMAS POR ATAQUE DE SULFATOS EN EL PENAL DE CAÑETE

5.1 *BREVE DESCRIPCION DE LA OBRA.*

5.2 *RESUMEN DEL ESTUDIO DE SUELOS.*

5.3 *INCIDENCIAS EN LA EJECUCION DE LAS CIMENTACIONES DE LA OBRA.*

5.4 *VISTAS FOTOGRAFICAS.*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

ANEXOS.

INTRODUCCION

Las obras de ingeniería civil son bienes de capital logrados con gran esfuerzo y con una inversión de tiempo y dinero cuantiosa. A diferencia de lo que ocurre con otros bienes de capital, como pueden ser equipos y maquinarias que están sujetos a cuidado permanente para mantenerlos en condición de operación, por lo general las obras de ingeniería civil especialmente las construidas con concreto reciben poco o ningún cuidado luego de su construcción.

En las últimas décadas la comunidad de ingenieros y la sociedad en general de todos los países, han visto con preocupación como obras que fueron proyectadas para durar largo plazo presentan antes de lo previsto, signos de deterioro que en muchos casos las inutilizan, perdiéndose la inversión o en otros casos requieren de procesos de reparación traumáticos y costosos. Esto muestra que en todo tipo de obras de ingeniería civil sea necesario presupuestar el mantenimiento para asegurar la operatividad de su vida útil prevista.

La utilización del concreto en masa y con acero de refuerzo supera actualmente a todos los otros materiales considerados en conjunto, hecho que confiere una enorme importancia al conocimiento de la problemática que plantea la durabilidad de las estructuras de concreto armado actuales y futuras. Las implicaciones económicas derivadas del aumento del número de casos de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión han alcanzado cifras alarmantes. De allí que las consideraciones desde el punto de vista de corrosión desde la etapa de diseño, en el mantenimiento y en las intervenciones en estructuras dañadas, adquieran carácter obligatorio.

Como material de construcción, se pensó que el concreto podría tener una duración ilimitada. Sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo y ataque de sulfatos.

En nuestro medio existe la particular importancia de construir carreteras, canales de irrigación, cimentación de edificaciones, tendido de tuberías de agua y desagüe, etc. en zonas costeras áridas que suelen comprender suelos agresivos o en terrenos de poca resistencia; que en la mayoría de los casos aquí se ubican la mayoría de los asentamientos humanos recientes. Ante la carencia de un plan de vivienda para todo el Perú preocupa que se tome una política de informalidad y autoconstrucción sin la adecuada orientación técnica y estudio de suelos pertinente, como ha ocurrido en la mayoría de los casos.

La corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de los iones cloruro que penetran desde el exterior del concreto ya sea por difusión o porque fueron incorporados directamente a la mezcla de concreto, también es debido por la carbonatación del recubrimiento de concreto; así mismo como causa principal del deterioro del concreto en una cimentación se menciona el ataque por sulfatos presentes en el suelo, en el agua freática o el agua de mar.

OBJETIVO: El estudio y comprensión de los mecanismos de la corrosión en el concreto armado que conduzca a una respuesta sobre las causas de este deterioro es un objetivo del presente informe; asimismo se pone énfasis a las metodologías y técnicas para la prevención de la corrosión. Este informe se complementa con la presentación de los problemas que hubo en el estudio de suelos, con respecto a la agresividad del suelo, en la construcción del Nuevo Establecimiento Penal de Cañete; así como el análisis de las medidas que se adoptó, por sugerencia del Ingeniero especialista de Suelos del proyecto, en la etapa constructiva para encarar la agresividad del suelo al concreto armado.

Los especialistas señalan la importancia de un correcto diagnóstico, existiendo el riesgo de que intervenciones incorrectas reduzcan la durabilidad que tiene la estructura original. Consideraciones de orden técnico y económico determinan las medidas a tomar. La diversidad de procedimientos y productos ofrecidos en el mercado constituye todavía un amplio campo de investigación a partir de los fundamentos teóricos y de los resultados obtenidos en los casos que han sido aplicados.

Los costos de mantenimiento de la estructura, como los de corrección o contención de las patologías generadas por el fenómeno, cuando éstos son técnicamente posibles, son económicamente tan significativos como para que se estimule la investigación científica y tecnológica, así como los procesos de aplicación rápida de los resultados obtenidos.

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS SOBRE CORROSION DE ARMADURAS

1.1 GENERALIDADES.

El concreto confiere al acero una protección de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que lo separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en los poros del concreto es un electrólito que puede formar un óxido protector (pasivación) de forma duradera. Esta solución acuosa está constituida principalmente por iones OH^- , a los que se debe la alta alcalinidad. Inicialmente se pensó que el hidróxido de calcio ($\text{pH} = 12.5$) producido durante las reacciones de curado era el componente principal que originaba esta alta alcalinidad; sin embargo, se ha demostrado que el pH de la solución en los poros es de 13 a 14, lo cual es debido a los hidróxidos de sodio y potasio, ya que el ion calcio prácticamente desaparece de la disolución cuando el cemento progresa en su hidratación. La cantidad relativa de cada uno de esos iones depende fundamentalmente de la composición y características del cemento, del grado de hidratación y de la relación agua / cemento (a / c).

A esta elevada alcalinidad y con el contenido de O_2 normal del ambiente en las estructuras aéreas, el acero se recubre de una capa pasiva de óxidos muy adherentes, compacta e invisible, que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión, mientras el concreto sea de buena calidad y no cambie sus características físico-químicas por acción del medio exterior. Por otra parte, en ausencia de oxígeno, el refuerzo de acero se oxidaría muy lentamente sin causar problemas de corrosión del mismo, como es el caso de las estructuras sumergidas, donde el concreto no se encuentra agrietado.

1.2 APLICACIÓN DEL TERMINO CORROSION AL CONCRETO.

El fenómeno de corrosión es un sinónimo de destrucción o deterioro, este no solo se da en los metales como esta ampliamente estudiado sino se presenta en los materiales pétreos y plásticos. Se sabe que el concreto es un material durable sin embargo en muchos casos sufre deterioro prematuro esto debido a factores internos o externos, dependiendo de las características del material que lo forman así como el medio en que se encuentra afecto.

El fenómeno de corrosión no siempre involucra un cambio de peso o un deterioro visible a simple vista; ya que en muchas formas de corrosión se manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia. Se podrá saber o estudiar el fenómeno del deterioro del concreto, si tenemos conocimientos de los agentes agresivos y de la interrelación de los factores que afectan su durabilidad.

1.3 FUNDAMENTOS SOBRE CORROSION EN ARMADURAS.

Los metales se encuentran, en general, en la naturaleza formando compuestos (óxidos, sulfuros, etc.) con otros elementos. Para usarlos en su forma elemental hay que extraer el metal mediante un proceso de reducción, lo que requiere comunicarles cierta cantidad de energía. El proceso inverso por el que el metal vuelve a su estado natural, va acompañado de un descenso de su energía de Gibbs, es decir, tiene lugar mediante una reacción espontánea. Este proceso, que corresponde a una oxidación, se conoce como corrosión y representa la destrucción paulatina del metal.

*La corrosión metálica cuando tiene lugar en medio acuoso, es un fenómeno de carácter electroquímico. En estos casos dentro del concreto y a lo largo de una varilla de refuerzo o de otro artículo contenido se crea una celda de corrosión. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales (Figura 1.2): **a) un ánodo**, donde ocurre la oxidación (existe la corrosión); **b) un cátodo**, donde ocurre la reducción (que no se corroe); **c) un conductor***

metálico, donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones y **d) un electrolito**, en este caso el concreto, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso. La distancia entre el ánodo y el cátodo puede variar aproximadamente de 6 mm a 10 mm o más.

Para que se forme una celda de corrosión es necesario la presencia de un electrolito, el cual es la solución capaz de conducir una corriente eléctrica por medio del flujo de iones. Cualquier concreto húmedo contiene suficiente electrolito como para conducir una corriente capaz de causar corrosión. Mientras más seco esté un concreto, menor será su conductividad⁽¹⁾

Habrá peligro de que esto suceda siempre que un concreto este expuesto a ser mejorado por soluciones acuosas, como el agua de mar, agua que contenga sulfatos.

La corrosión electroquímica del acero en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el acero (diferentes aceros, soldaduras, sitios activos sobre la superficie del acero), contacto con metales menos activos, así como también, de las heterogeneidades en el medio químico o físico (concreto) que rodea al acero. Ahora bien, aunque la potencialidad para la corrosión electroquímica puede existir debido a la falta de uniformidad del acero en el concreto, la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro "pasivante" mencionada con anterioridad. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera o a través de él penetran sustancias agresivas, se produce el rompimiento de esta película y la corrosión de las armaduras se desencadena con una triple consecuencia:

- *El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido,*
- *el concreto puede fisurarse o delaminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse y,*
- *la adherencia armadura-concreto disminuye o desaparece.*

⁽¹⁾ *Corrosión en Estructuras de Concreto. American Concrete Institute. Capítulo Peruano. Dic 1991. Cap. 06 Experiencias constructivas en la reparación de estructuras de concreto armado. Pag 124*

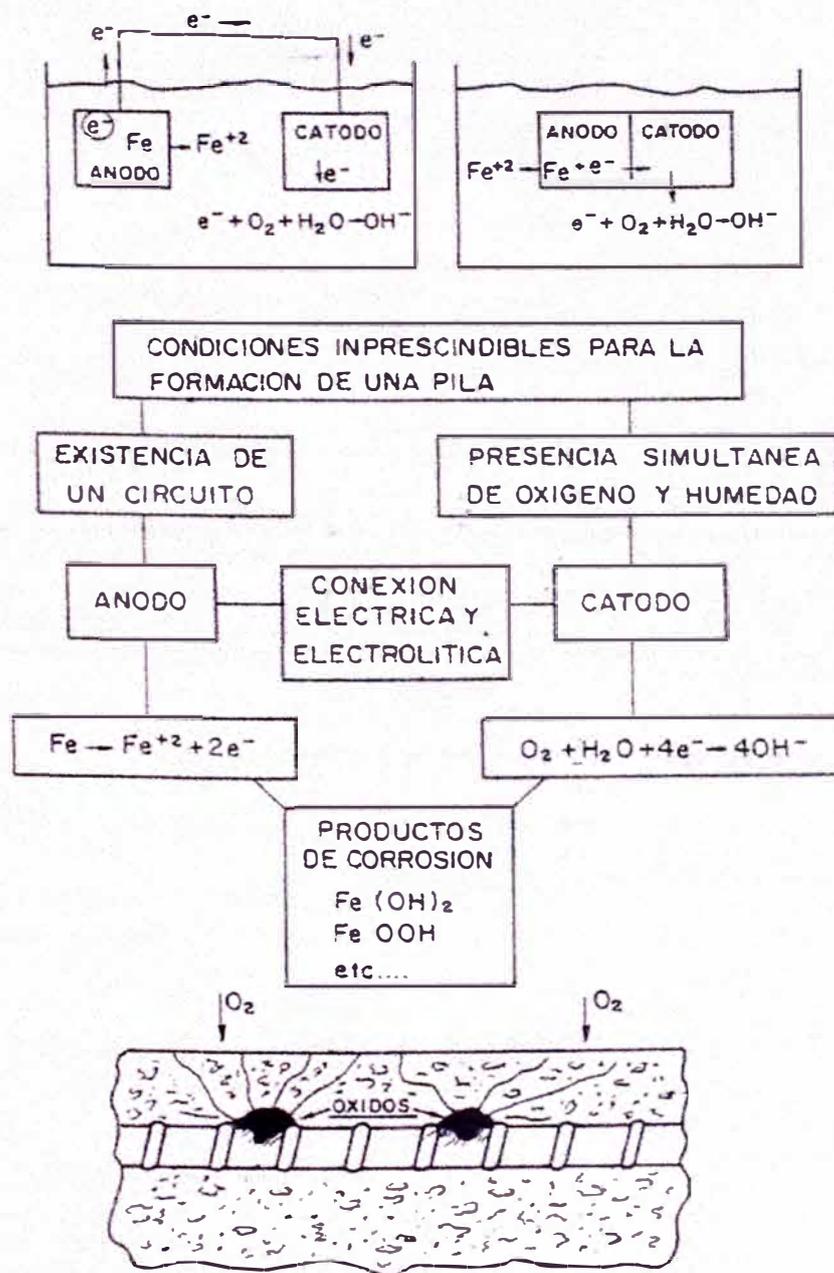


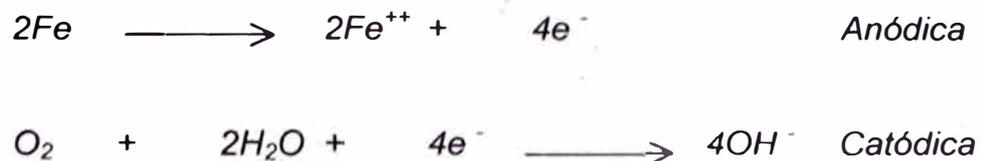
Figura I.1 Formación de la Pila de Corrosión⁽²⁾

⁽²⁾ Manual Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Subprograma: "Corrosión de Armaduras". Imprime: ACOR, Artes Gráficas, S.A. 1989. Pag. 12

Para que la corrosión del acero pueda iniciarse y mantenerse existen dos mecanismos que en general son los más aceptados:

- a) Reducción de la alcalinidad por lixiviación de las sustancias alcalinas con agua o neutralización parcial con dióxido de carbono u otro material ácido y,
- b) por la acción electroquímica que involucra al ion cloruro en presencia de oxígeno.

Así, el acero se corroe por la reacción anódica que permite que él se disuelva como ion ferroso. Debe haber una reacción catódica simultánea, como la reducción de oxígeno, todo esto en presencia de agua.



Es importante resaltar que sin la presencia simultánea en el concreto de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible la corrosión y, sin una cantidad mínima crítica, no es posible que se desarrolle con velocidad apreciable. Ambos factores tienen un carácter ambivalente, pues cuando las armaduras están pasivadas, una cierta cantidad de oxígeno y humedad pueden servir para engrosar la capa pasivante, pero, cuando las armaduras se corroen activamente, actúan acelerando notablemente el ataque. En su ausencia, sin embargo, lo detienen completamente⁽³⁾.

A continuación se muestra un cuadro descriptivo de algunas condiciones para que exista o no corrosión del acero en concreto.

⁽³⁾ Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en estructuras de Hormigón Armado. Red Iberoamericana de Durabilidad de la Armadura (DURAR). 1ra Edición 1997. CYTED. Pag 20

PARA QUE HAYA CORROSION



$PH < 8.0$

Oxígeno
Agua



$pH > 8.0$

Oxígeno
Agua
Cloruros

PARA QUE NO HAYA CORROSION



Mantenga fuera del Concreto Armado alguna de las siguientes opciones

-
- Oxígeno
 - Agua
 - Cloruros



Coloque en el Concreto Armado alguna de las siguientes opciones

-
- Iones Hidróxilos
 - Potencial negativo sobre el acero
 - Iones ferrosos
 - Inhibidor

Así, los problemas de corrosión del acero estructural están íntimamente asociados a la despasivación del mismo, por el proceso electroquímico resultante de las variaciones del medio químico sobre las distintas interfaces concreto / acero y de las diferencias metalúrgicas y mecánicas del metal. Estas variaciones originan gradientes de potencial, con flujo de corrientes eléctricas llevando a la formación de áreas anódicas y catódicas que constituyen las celdas de corrosión.

CAPITULO II

TIPOS DE CORROSION

En el Concreto armado, las formas que puede adoptar la corrosión de la armadura son diversas. Fontana⁽⁴⁾ ha clasificado los diferentes tipos I formas de corrosión de acuerdo a la apariencia física del ataque. Según esto, en el caso del acero embebido en el concreto, los diferentes tipos de corrosión que pueden presentarse son los siguientes:

2.1 CORROSION AL REFUERZO DE ACERO

2.1.1 Corrosión Localizada

a.- Corrosión por Picaduras.

Las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, bien sea porque provienen del medio exterior o porque fueron incorporados en la masa de concreto.

De esta manera, se forma una celda de corrosión donde existe un área pasiva intacta, actuando como cátodo, en la cual se reduce el oxígeno y una pequeña área donde se ha perdido la película, actuando como ánodo, en la cual ocurre la disolución del acero. Varios factores actúan en conjunto para mantener o profundizar las picaduras existentes, más que para extender la corrosión o generar nuevas picaduras. Como ya es conocido⁽⁴⁾, las picaduras son autocatalíticas, ya que generan las condiciones necesarias y suficientes para su continuo crecimiento.

⁽⁴⁾ Fontana M. G.: "Corrosion Engineering". Third Edition. Mc Graw-Hill Publishing Company. Chapter Three. 1967

En el ánodo se produce ácido, debido a que los iones cloruro favorecen la hidrólisis del Fe en agua para formar H^+ y Cl^- libre. Esto decrece el pH localmente y los iones cloruro permanecen en el medio para seguir interviniendo en el proceso de corrosión, agravando el problema.

b.- Corrosión en Espacios Confinados

La corrosión de este tipo puede ocurrir cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno a esa zona, pudiendo crearse celdas diferenciales de oxígeno que inducen a la corrosión del refuerzo.

Existen varias situaciones que pueden inducir a este daño. Entre ellas se puede mencionar la inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico, donde ya el medio agresivo ha llegado al refuerzo, siendo esta zona donde la corrosión se aceleraría por la falta de acceso de oxígeno. Otro ejemplo puede ser la corrosión de acero de refuerzo con revestimientos, como por ejemplo en el caso del uso de epóxicos, cuando la adhesión entre éste y el acero se ha deteriorado. Adicionalmente, si hay iones cloruro en el concreto, éstos pueden acumularse en el intersticio resultante entre el recubrimiento y el acero. El pH dentro de ese espacio confinado disminuye y el proceso de corrosión se sigue agravando por un proceso autocatalítico, similar al de corrosión por picadura, todo lo cual origina una mayor pérdida de adherencia. El deterioro de la adherencia entre el acero y el recubrimiento se puede producir por daño mecánico (durante el doblado de las varillas) o por procesos electroquímicos que pudieran darse en el concreto aun antes que los iones cloruro lo penetren.

c.- Corrosión bajo Tensión.

Este tipo de corrosión ocurre cuando se dan conjuntamente dos circunstancias: esfuerzos de tracción sobre el acero y un medio agresivo. Esto ocurre preferencialmente en el concreto pretensado o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia debido, en general, a la presencia de

hidrógeno atómico difundiendo a través del metal. Este hidrógeno puede provenir de diferentes fuentes: corrosión del acero, protección catódica, etc. Este daño produce también fragilidad por hidrógeno. La corrosión bajo tensión es un fenómeno muy específico, generalmente asociado a una mala calidad del concreto (mal relleno de las vainas), o a la presencia de determinados iones, generalmente aportados por algunos aditivos, o al uso de un determinado tipo de acero (templado y revenido) que se ha utilizado preferentemente en Alemania.

En el caso de aceros pretensados, la presencia de picaduras por corrosión causada por iones cloruro, puede inducir a que el acero presente corrosión por tensiones

La única manera de confirmar la fragilidad por hidrógeno o la corrosión bajo tensión es mediante la observación microscópica de las superficies de fractura. Este daño es considerado del tipo catastrófico, ya que está asociado a una pérdida de ductilidad y a la fractura de la armadura.

d.- Corrosión por corrientes de interferencia.

Las corrientes de interferencia, llamadas también vagabundas, erráticas o de fuga (términos utilizados en algunos países), pueden ser definidas como las corrientes que fluyen en una estructura y que no forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica. Para que ocurra corrosión por corrientes de interferencia debe existir un intercambio de corriente entre una estructura metálica y un medio electrolítico. La corriente continua es la que tiene el efecto más pronunciado sobre la corrosión, ya que ésta fluye continuamente en un solo sentido. Por el contrario, la corriente alterna que invierte su dirección alrededor de una centena de veces por segundo, puede causar un efecto mucho menos pronunciado.

Las fuentes más comunes de este tipo de corrientes son: sistemas de protección catódica operando en las cercanías de estructuras de concreto armado, especialmente en medios de muy baja resistividad, como lo es el agua

salobre; sistemas con potencia eléctrica, como los trenes eléctricos; máquinas de soldar, donde la estructura conectada a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar, corrientes telúricas (asociadas a la actividad solar y al campo magnético de la tierra). Independientemente de la fuente, las corrientes que fluyen en un medio electrolítico son manifestaciones de diferencias de voltaje. Si en el entorno de estos gradientes de voltajes, se encuentra situada una estructura de concreto reforzado con acero, puede existir un intercambio de corriente con el mismo, donde el punto de entrada de corriente actuaría como cátodo, pero la salida sería la zona anódica que podría causar la disolución del metal, corroyéndolo.

Es importante indicar que si el acero se encuentra pasivado en un concreto no contaminado por cloruros, esta corriente de interferencia no produciría la corrosión del refuerzo, ya que lo podría mantener pasivo o llevar a la zona de inmunidad. Por el contrario, si el concreto contiene cloruros, la corrosión del refuerzo se vería acelerada drásticamente por el efecto de estas corrientes.

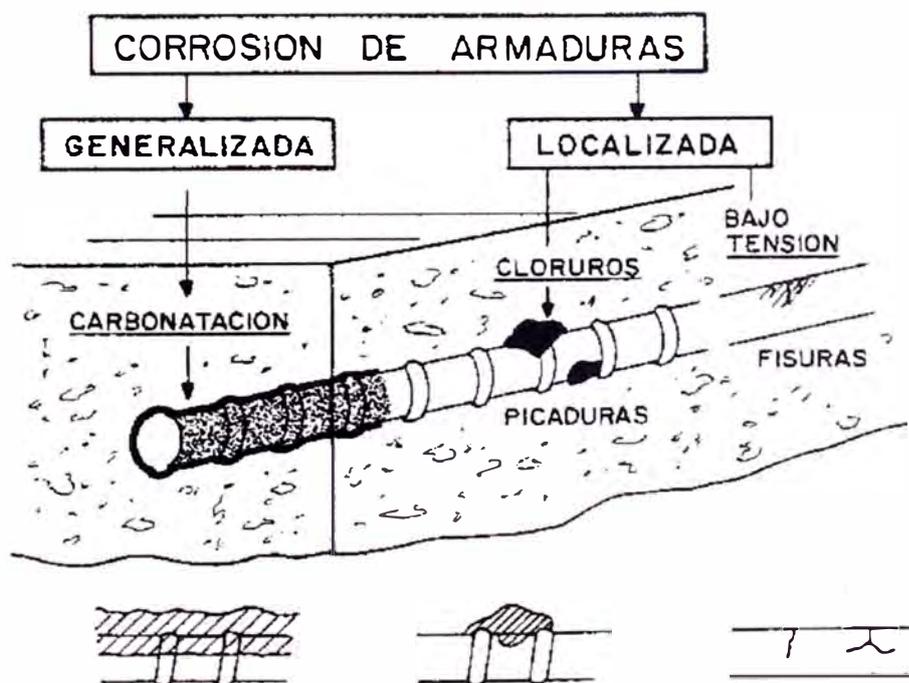


Figura 1.3 Morfología de la corrosión del acero de refuerzo según el factor que la cause (presencia de iones Cl^- o carbonatación del concreto).

2.1.2 Corrosión Uniforme / Generalizada.

La corrosión uniforme es el resultado de una pérdida generalizada de la película pasiva, resultante de la carbonatación del concreto y / o la presencia de excesiva cantidad de iones cloruro. También puede ocurrir por efecto de la "lixiviación" del concreto producida por la percolación y /o lavado por aguas puras o ligeramente ácidas.

2.1.3 Corrosión Galvánica.

Este tipo de corrosión se pueden dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico. En el caso del acero en concreto, esta situación se dará cada vez que en alguna zona se dañe o no se forme la película pasiva característica. Esta zona actuará como un ánodo frente al resto del material, donde permanece la pasivación, el cual actuará como cátodo. También se podría presentar cuando el refuerzo se encuentre en contacto con otros conductores más nobles. En general, se asocia al funcionamiento de una macrocelda. Un ejemplo típico es el caso de armaduras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas.

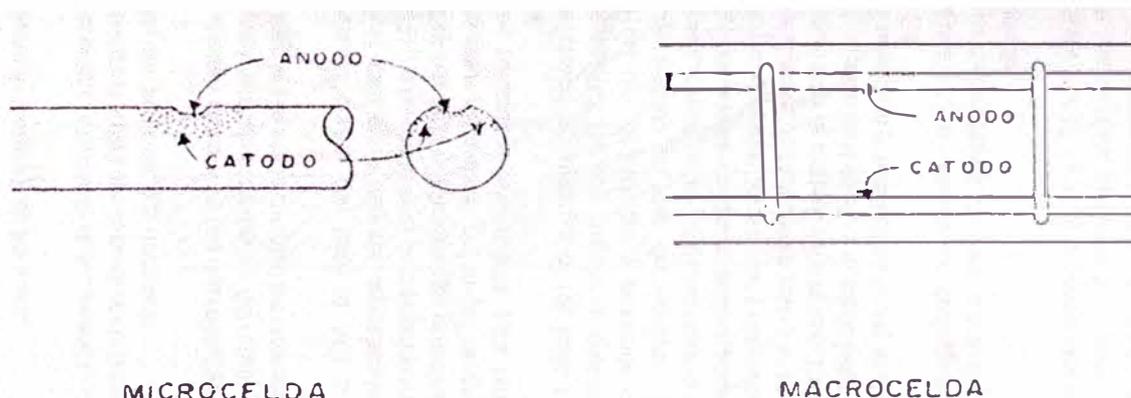


Figura 1.4 Corrosión por microcelda y macrocelda.

2.2 CORROSION DEL CONCRETO.

Hay varios factores reconocidos de degradación del concreto que van desde los superficiales por desgaste, hasta los químicos que afectan la masa mismo del concreto.

La agresión química interna está constituida por reacciones de los constituyentes del concreto con la pasta de cemento, generándose compuestos que cambian de volumen y se expanden destruyéndolo. Principalmente se produce porque el concreto contiene agregados contaminados con cloruros y / o sulfatos, o son reactivos con los álcalis del cemento, produciéndose en ambos casos compuestos expansivos. Existen ensayos físicos y químicos (ASTM C - 295) que permiten evaluar y descartar este tipo de agregados en la etapa de selección de estos para su empleo en la elaboración de concreto. Una vez que se han empleado dichos agregados y se produce la reacción que por lo general tarda varios años en manifestarse, no existe manera de contrarrestar su efecto salvo la reparación y reposición del concreto dañado.

La agresión química externa está constituida por el flujo de sales en solución (fundamentalmente sulfatos), hacia el concreto, formando sulfoaluminatos que tienen la propiedad de aumentar volumen.

La corrosión del concreto es un fenómeno químico que se produce por la reacción de sustancias agresivas externas con los álcalis, producto de la hidratación del cemento. Por lo general sólo las sustancias químicas que están en solución son agresivas al concreto. El grado de su agresividad dependerá de su concentración en la solución.

La vulnerabilidad del concreto será mayor cuando las soluciones agresivas se encuentran bajo presión y son forzadas a penetrar en las porosidades y fisuras del concreto.

Si tomamos en cuenta que:

Se requiere un mecanismo de transporte de moléculas y iones de la sustancia agresiva a la sustancia reactiva.

Si no hay humedad las reacciones no se producen o son muy lentas presentando poco o ningún riesgo.

La agresión se activa considerablemente al aumentar la temperatura, por simplicidad puede decirse que la velocidad de reacción se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura.

Debemos considerar entonces que el control del agua y de la temperatura es esencial para minimizar o evitar los daños.

2.2.1 ATAQUE POR ÁCIDOS

Siendo el concreto químicamente básico, con un pH del orden de 13, pueden ser atacado por medios ácidos con pH menor de 7, los cuales reaccionan con el hidróxido de calcio de la pasta produciéndose compuestos de calcio solubles en agua.

Por lo general el concreto de cemento portland tiene poca resistencia al ataque de ácidos, los ácidos son muy nocivos al concreto pues disuelven la matriz cementosa. Entre los elementos que atacan el concreto podemos mencionar el ácido sulfúrico, el nítrico, el sulfuroso, clorhídrico, aguas de minas, industrias, o fuentes minerales que puedan contener o formar ácidos, las turbas que puedan producir ácido sulfúrico, y ácidos orgánicos de origen industrial.

Se da generalmente en áreas industriales bien sea procesadores de alimentos o en industrias químicas propiamente dichas, o (aunque en menor grado), en plantas de tratamiento de desechos industriales.

El ataque químico por ácidos se caracteriza por un desgaste de la superficie hacia el interior del concreto donde puede verse que los agregados se encuentran sueltos pues el material cementante ha desaparecido.

Sin embargo, se puede decir, en términos generales, que principalmente los ácidos son nocivos al concreto y al acero, tanto más cuanto más fuerte sean y mayor sea su concentración.

2.2.2 ATAQUES POR BASES.

Las bases como el hidróxido de sodio o soda cáustica y el hidróxido de amonio o amoniaco, si penetran en el concreto y se concentran en una zona determinada producen daño físico por cristalización y expansión a partir de la reacción entre el hidróxido y el bióxido de carbono proveniente del aire.

2.2.3 ATAQUES POR SALES

Las sales son compuestos químicos derivados de ácidos o bases, formadas de la reacción entre ellos, usualmente solubles en agua.

Los cloruros y nitratos de amonio, magnesio, aluminio, y hierro atacan al concreto, siendo el mas peligroso el de amonio.

Por su importancia la acción de los sulfatos de calcio, sodio o magnesio deben ser tratados independientemente.

2.2.4 ATAQUE POR SULFATOS

El ataque por sulfatos ocurre especialmente en concretos sumergidos en agua de mar y en concretos enterrados o en contacto con el suelo cuando éstos tienen humedad.

Los sulfatos reaccionan con los hidróxidos de calcio (cal hidratada) liberados en el proceso de hidratación del cemento, y forman sulfato de calcio (yeso). Este a su vez reacciona con el aluminato hidratado de calcio para formar el sulfo-aluminato de calcio (etringita). Estas dos reacciones dan productos sólidos de mayor volumen que el original y son causantes de las expansiones y rupturas del concreto.

La descomposición y desintegración del concreto es progresiva mientras éste está expuesto a los agentes que la producen. De no ser

detectada y controlada a tiempo, su avance comprometerá el recubrimiento de las barras dejando expuestas la armadura a la acción agresiva directa del medio.

El efecto será más grave y destructivo cuando las sales penetran en la masa del concreto arrastradas por la presión de líquido, como ocurre en las estructuras de contención de suelos o de agua. El daño en estos casos se concentra en la superficie opuesta, en las fisuras por donde ocurre la filtración por la acumulación de sales en las superficies.

Adicionalmente al fenómeno químico e independientemente a éste, se produce en muchos casos, un fenómeno físico, que consiste en la cristalización de las sales de sulfatos en los poros y en las fisuras del concreto. La destrucción del concreto se debe a la expansión de las sales al cristalizarse.

El sulfato de magnesio es aun más agresivo que el sulfato de sodio o de potasio, que producen al igual que el sulfato de sodio gran aumento de volumen, expansión y agrietamiento del concreto.

2.3 CORROSION DE MATERIALES EMBEBIDOS.

El acero presforzado podría corroerse en idénticas circunstancias que el acero ordinario.

El aluminio embebido podría corroerse y agrietar el concreto, y la posibilidad es mayor si ambos metales están en contacto; aun el aluminio con el concreto fresco aumenta la posibilidad de corrosión al presentarse el hidrogeno.

El plomo con el concreto húmedo puede ser atacado por el hidróxido de calcio y ser destruido al poco tiempo.

El cobre es atacado por el concreto y presenta corrosión si está presente el amoniaco o pequeñas cantidades de nitratos.

El zinc reacciona con los materiales alcalinos del concreto pudiéndose producirse corrosión, especialmente si el acero es sin galvanizar.

Los aceros inoxidable pueden producir agrietamientos debido a la corrosión, especialmente si la temperatura es mayor a 60°C.⁽⁵⁾

⁽⁵⁾ *Apuntes de Clase: Tópicos Especiales en Construcción. Curso de Titulación Profesional por la Modalidad de Actualización de Conocimientos. Facultad de Ingeniería Civil UNI-2000.*

CAPITULO III

FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSION EN EL CONCRETO ARMADO

3.1 FACTORES DE DETERIORO EN EL REFUERZO.

Se denomina así a aquel conjunto de circunstancias que inducen la despasivación del acero en el concreto. Ya se menciono con anterioridad, que la corrosión sólo se provoca si el pH baja hasta valores ácidos (menores que 8), por lo que serán pues factores que afectan o desencadenan todos aquellos que den lugar a una neutralización del medio alcalino propio del concreto o bien, como es el caso de las fisuras y coqueas, que supongan la ausencia de contacto entre el acero y el concreto.

Existen varios factores que afectan, desencadenan o producen ambos efectos en el proceso de corrosión de las armaduras. De tal manera que: la dosificación, la compacidad y la homogeneidad del concreto, así como el espesor del recubrimiento en el concreto, el estado superficial de la armadura y la humedad ambiental son los factores que afectan este proceso. Por otra parte los factores desencadenantes que con mas frecuencia dan lugar a la corrosión de la armadura son: presencia de cangrejeras en contacto con la armadura, altas tensiones mecánicas en el acero (creación de resquicios en fisuras) , corrientes erráticas o de interferencia, contacto galvánico entre dos metales, iones despasivantes (Cl^- , $SO_4^{=}$, etc.), CO_2 atmosférico o cualquier líquido que neutralice la alcalinidad, lixiviación por aguas blandas y las fisuras, presentando estos últimos ambos efectos.

En el cuadro adjunto (Figura I.5) se resumen las circunstancias que pueden dar lugar a corrosión de tipo localizado⁽⁶⁾.

⁽⁶⁾ Manual Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Subprograma: "Corrosión de Armaduras". Imprime: ACOR, Artes Gráficas, S.A. 1989. Pag. 20

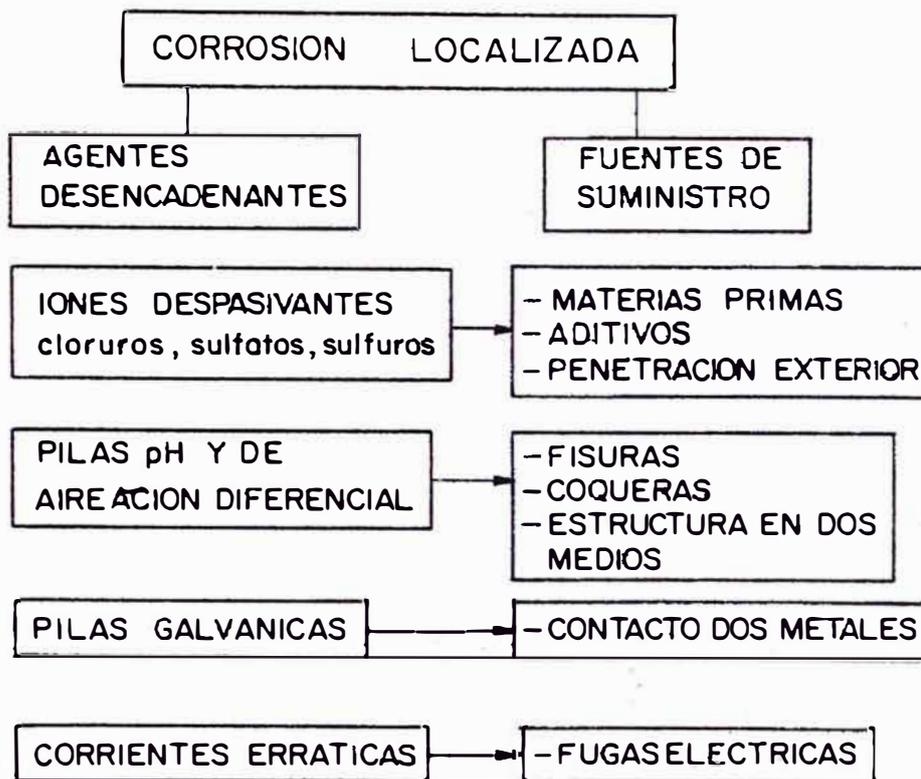


Figura 1.5 Factores que provocan corrosión localizada

3.1.1 ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO.

La protección que confiere el concreto que recubre las barras de acero de una estructura de concreto armado o pretensado dependerá del grado de impermeabilidad de éste, que a su vez estará dada por su compacidad y homogeneidad en esa zona.

En muchos casos esta masa de concreto no cumple con sus funciones específicas porque suele ser menos compacta y más porosa que el resto del volumen que constituye el elemento. Este fenómeno puede producirse por varias causas, siendo la más importante una mala compactación del concreto.

El espesor de esta capa de concreto es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. Existen normas internacionales, donde se especifican los espesores adecuados de acuerdo a la agresividad ambiental.

Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea el mínimo indispensable, ya que por ser una zona desprovista de armadura, pudiera verse afectada por fisuración, particularmente si el elemento está sometido a esfuerzos de tracción. Por tal motivo, las normas recomiendan que en ambientes agresivos debe utilizarse una mezcla de calidad con alto contenido de cemento y baja relación de a / c, garantizando así que espesores de 2 a 3 pulgadas permitan una alta durabilidad de la estructura.

Es necesario considerar el papel de las grietas en el concreto, ya que éstas pueden reducir la efectividad protectora del recubrimiento y de este modo reducir la vida útil de la estructura, al permitir una penetración más rápida de los iones cloruro, el dióxido de carbono, el agua y el oxígeno y atacar el acero de refuerzo. El efecto de las grietas está en función de su origen, anchura, intensidad y orientación.

3.1.2 HUMEDAD AMBIENTAL.

La presencia de agua es imprescindible para la corrosión en medios neutros y alcalinos, pues interviene en el proceso catódico de reducción del oxígeno:



Además, el agua es necesaria para la movilidad de los iones a través del electrólito. En el concreto seco, la resistividad eléctrica es tan elevada que impide que la corrosión se produzca aun en ausencia de la capa pasivante sobre el acero; sólo la existencia de una cierta cantidad mínima de humedad en los poros del concreto permitirá el desarrollo de los procesos corrosivos. Por tanto, cuanto mayor sea el contenido de humedad en los poros del concreto, menor será el valor de la resistividad eléctrica y más elevadas podrán ser, en principio, las velocidades de corrosión.

El contenido en agua de los poros es función, en situaciones de no inmersión o no saturación, de la humedad relativa (HR) del ambiente. La humedad relevante, es decir, la que influye en los procesos de corrosión, es la realmente contenida en los poros. A este respecto, debe tenerse presente que

la humedad ambiental y la del concreto solo coinciden en regímenes estacionarios y que en condiciones cambiantes es mayor la humedad del concreto, porque éste pierde agua a menor velocidad de lo que la gana a causa de la existencia de tensiones capilares. Este último fenómeno puede verse acrecentado cuando el concreto este contaminado por cloruros, a causa del carácter higroscópico de los mismos. Asimismo, aunque el ambiente exterior esté seco, el interior del concreto no se seca más que cuando tales circunstancias se prolongan largo tiempo. En la mayoría de los concretos, a partir de 3 - 4 cm del medio exterior, los poros siempre se encuentran saturados o casi saturados de humedad. Este comportamiento esta muy influenciado por la porosidad del concreto, ya que concreto muy porosos permitirán una "respiración" más profunda que concretos más densos, cuya "piel" sólo "respirará" en los 1 - 2 cm más externos.

3.1.3 EFECTO DEL OXIGENO.

No es posible que el proceso de corrosión se desarrolle sin que llegue una mínima cantidad de oxígeno hasta las armaduras, es decir, es necesaria una cierta "aireación" de las mismas.

Durante mucho tiempo se ha considerado que el acceso o flujo de oxígeno es el factor determinante de la velocidad de corrosión. Así, se piensa a menudo que el espesor del recubrimiento influye mucho en el acceso de oxígeno y se han realizado múltiples trabajos para medir la permeabilidad del concreto al oxígeno, al aire o a los gases. Pero el estado actual de conocimientos descarta esta hipótesis, por lo que no son válidas las extrapolaciones al fenómeno de corrosión de las armaduras de los ensayos de permeabilidad del concreto, cuando se utiliza la presión mecánica como fuerza impulsora de los gases.

Si el flujo de oxígeno fuera el factor determinante de la velocidad de corrosión, sin duda ésta debería ser mayor en un concreto seco, conservando por ejemplo en una atmósfera con un 50% de HR, que en un concreto húmedo donde el flujo de oxígeno es menor, ya que éste tiene que disolverse

previamente en el agua contenida en los mismos. Sin embargo, la evidencia experimental muestra claramente que la velocidad de corrosión es máxima cuando los poros tienen suficiente agua, sin llegar a saturarse, como para facilitar los procesos de corrosión.

Cuando el concreto tiene los poros completamente saturados de agua, el oxígeno se tiene que disolver en ella antes de alcanzar las cercanías de la armadura. En este caso el flujo de oxígeno es el factor controlante, ya que la cantidad que fluye es muy limitada. En todos los demás casos, el acceso de oxígeno siempre es suficiente para soportar la velocidad de corrosión que permita la resistividad del concreto.

Cuando el concreto es denso y el ambiente exterior contiene unos niveles medios de humedad, los poros están completamente saturados de agua a partir de los 3 - 4 cm del exterior. Por lo tanto, si existen armaduras más interiores y éstas están despasivadas, su velocidad de corrosión estará limitada, pero si están más cerca de la superficie, su velocidad de corrosión puede ser muy elevada.

Existen varios ensayos en los que se intenta correlacionar la mayor o menor permeabilidad del concreto frente a los gases con su menor o mayor capacidad protectora en procesos de corrosión. Sin embargo, se ha demostrado que debido a que la corrosión es un proceso electroquímico, sólo son válidos los valores de flujo de oxígeno cuando se miden utilizando "fuerzas impulsoras" de tipo electroquímico y no aquellas provenientes de fuerzas mecánicas.

En la práctica, una aproximación gruesa, pero suficiente y no sofisticada, para conocer la mayor o menor bondad de un concreto en relación a su permeabilidad al oxígeno es medir su porosidad o índice de "huecos" accesibles.

3.1.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA.

La temperatura juega también un doble papel en los procesos de deterioro. Por un lado, su incremento promociona la movilidad de las moléculas facilitando el transporte de sustancias; por otro, su disminución puede dar lugar a condensaciones que, a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material. Además, la cantidad absoluta de vapor de agua en la atmósfera varía con la temperatura. Existe un efecto opuesto entre humedad y temperatura, ya que al aumentar esta última se evapora humedad y cuando desciende, condensa agua líquida en los capilares.

Finalmente, es importante destacar que estos tres factores ambientales (humedad, oxígeno y temperatura) tienen efectos contrapuestos y que, por tanto, no es fácil predecir la evolución del proceso de corrosión del acero a partir de uno sólo uno. Esta característica del "efecto inversor" (por ejemplo, una mayor humedad facilita la corrosión pero impide el acceso de oxígeno, o bien una mayor temperatura acelera la corrosión pero disminuye la condensación) lleva a múltiples predicciones erróneas de comportamiento de las armaduras.

3.1.5 ESTADO SUPERFICIAL DEL ACERO.

Siendo la superficie del acero la primera interfase con el medio, es lógico pensar que su estado superficial afectará las reacciones que tendrían lugar en contacto con él. En términos generales, el acero cuya superficie posee la cubierta de óxidos provenientes del proceso de pasivación se presenta menos reactivo que aquél cuya superficie está libre de dicha capa. No obstante, la presencia de productos de oxidación producidos por la corrosión atmosférica no necesariamente demuestran igual comportamiento, siendo incluso altamente probable que de estar contaminados con agentes agresivos como el ion cloruro, se propicie la corrosión.

Adicionalmente, los productos de corrosión presentes en forma masiva, no adherentes, deben ser eliminados, ya que ocasionan problemas de adherencia o condiciones propicias para la corrosión de la armadura en el concreto. Esto es particularmente crítico cuando se utiliza acero de alto límite elástico en concreto pre- y postensado. En estos casos la superficie del acero debe encontrarse limpia y cabe resaltar que no se aceptará reducción de sección, ya que cualquier resto de óxido puede inducir grietas de corrosión bajo tensión a largo plazo.

3.1.6 TENSIONES MECANICAS DEL ACERO.

Los aceros de pre- y postensado son de composición eutectoide (alrededor del 0.8% de C) y suelen estar sometidos a tensiones entre el 60 y el 80% de su límite elástico. Estas elevadas tensiones no representan ningún riesgo si el acero está exento de imperfecciones y de óxidos superficiales y si el concreto que lo rodea es de elevada calidad.

En el concreto donde la carbonatación alcance los alambres tensados o donde haya ciertos iones despasivantes (SCN^- , S^{2-} , Cl^-), el riesgo de una corrosión bajo tensión existe. Este tipo de corrosión se caracteriza por incubar grietas no visibles al ojo humano, que se propagan con relativa rapidez hacia el interior. Alcanzada una pérdida de sección crítica, el alambre se rompe de forma frágil, donde se puede apreciar la mayor reducción de sección que se produce en una rotura dúctil, en comparación con la casi nula que se detecta en una rotura frágil.

No todos los concretos pre- o postensados que se deterioran lo hacen mediante este mecanismo que es relativamente inusual; la mayoría de los fallos es debida a una corrosión simple por cloruros o por carbonatación.

La única forma de confirmar el tipo de rotura es mediante el estudio microscópico de las superficies fracturadas.

3.1.7 CORRIENTES ERRATICAS O DE INTERFERENCIA.

Como ya se indicó en el punto 2.1.1.d, estas corrientes son aquellas que, por diversas causas, abandonan sus circuitos naturales para circular por el medio en el que se encuentran los conductores, siguiendo así caminos no previstos. En el caso de estructuras de concreto armado se ha demostrado que este efecto es importante para acelerar un proceso de corrosión ya iniciado por otros factores, como por ejemplo, concretos ya contaminados por iones cloruros o carbonatados.

Por lo tanto, es importante tomar en cuenta este efecto en estructuras enterradas o sumergidas que son los lugares potencialmente factibles para que existan corrientes capaces de acelerar la corrosión de las armaduras. Esto induce a un rápido incremento en la disolución localizada del material, pudiendo llegar a ser un daño catastrófico.

3.1.8 CONTACTO GALVANICO ENTRE DOS METALES.

El contacto de las armaduras con otros metales no suele ocasionar su corrosión en ausencia de agentes desencadenantes. Sin embargo, deberá evitarse este contacto, pues podrían existir determinadas circunstancias que sitúen al acero en condiciones más favorables para la despasivación, si los otros metales lo polarizaran hacia potenciales más anódicos. En general, el contacto acero-inoxidable o acero-cobre no produce la corrosión. El contacto con zinc o aluminio puede ser incluso favorable ya que induce una cierta protección catódica a la armadura.

3.1.9 IONES DESPASIVANTES.

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la

degradación del concreto, lo cual puede permitir que la armadura se exponga al medio, produciéndose así su corrosión.

a. Cloruros

Como ya se ha señalado, provocan una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero, en espacios de tiempo relativamente cortos.

Los cloruros pueden encontrarse en la masa del concreto por dos causas:

- a) porque los contengan las materias primas (aditivos, agua, cemento o áridos), o*
- b) porque penetren desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo.*

En el caso de los cloruros que pudieran ser adicionados durante el amasado del concreto, los códigos de fabricación y de cálculo de estructuras de concreto de todos los países limitan su contenido en proporciones variables. En general los límites que se aceptan son distintos en varios países, tal como se muestra en la Tabla I.1. Por ejemplo, en Europa y en muchos países latinoamericanos se admite para concreto armado 0.4% en base al contenido de cemento y para pretensado 0.2% en la misma base.

Las divergencias en las cantidades máximas de cloruros admitidas por los distintos códigos aparecen debido a la inexistencia de un límite único de aplicación general. Ello se produce tanto por las diferencias de características de los cementos (su contenido en álcalis y velocidad de hidratación), como por los distintos tipos de acero utilizados (composición química, rugosidad superficial, y estado de conservación), así como por las distintas materias potencialmente suministradoras de los cloruros.

Tabla I.1. Valor crítico de cloruros en concretos reforzados⁽⁷⁾

PAIS	NORMA	LIMITE MAX. DE Cl ⁻	REFERIDO A
USA	ACI 318	≤ a 0.15% en ambiente de Cl	Cemento
USA	ACI 318	≤ a 0.3% en ambiente normal	Cemento
USA	ACI 318	≤ a 1% en ambiente seco	Cemento
INGLATERRA	CP - 110	≤ a 0.35% al menos en un 95%	Cemento
AUSTRALIA	AS 3600	≤ al 0.22%	Cemento
NORUEGA	NS 3474	≤ al 0.60%	Cemento
ESPAÑA	EH 91	≤ al 0.40%	Cemento
EUROPA	EUROCODIGO 2	≤ al 0.22%	Cemento
JAPON	JSCE - SP 2	≤ al 0.6 Kg/m ³	Concreto
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0.05%	Agua

Con relación a este límite máximo de cloruros es importante mencionar que parte de ellos se puede combinar con las fases aluminicas y ferríticas de los cementos, por lo que sólo son peligrosos los que quedan sin combinar o "libres". Los cloruros se pueden encontrar dentro del concreto de dos formas: como cloruros "libres", es decir en forma de iones en el agua contenida en los poros, que son los que pueden ser agresivos para el acero, y como cloruros "combinados", formando parte de las fases hidratadas del cemento, fundamentalmente como cloroaluminatos. La suma de cloruros "libres" y "combinados" se suele llamar cloruros "totales". La proporción entre libres y combinados tampoco es constante, al estar influida por la finura del cemento, su contenido en yeso, la temperatura durante el fraguado y la humedad de los poros del concreto.

⁽⁷⁾ Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en estructuras de Hormigón Armado. Red Iberoamericana de Durabilidad de la Armadura (DURAR). 1ra Edición 1997. CYTED. Pag 37

En la Figura 1.6 se resumen las condiciones que pueden afectar al límite de cloruros capaz de despasivar las armaduras. Un valor medio generalmente aceptado es el de 0.4% en relación al peso del cemento ó 0.05 - 0.1% en relación al peso del concreto.

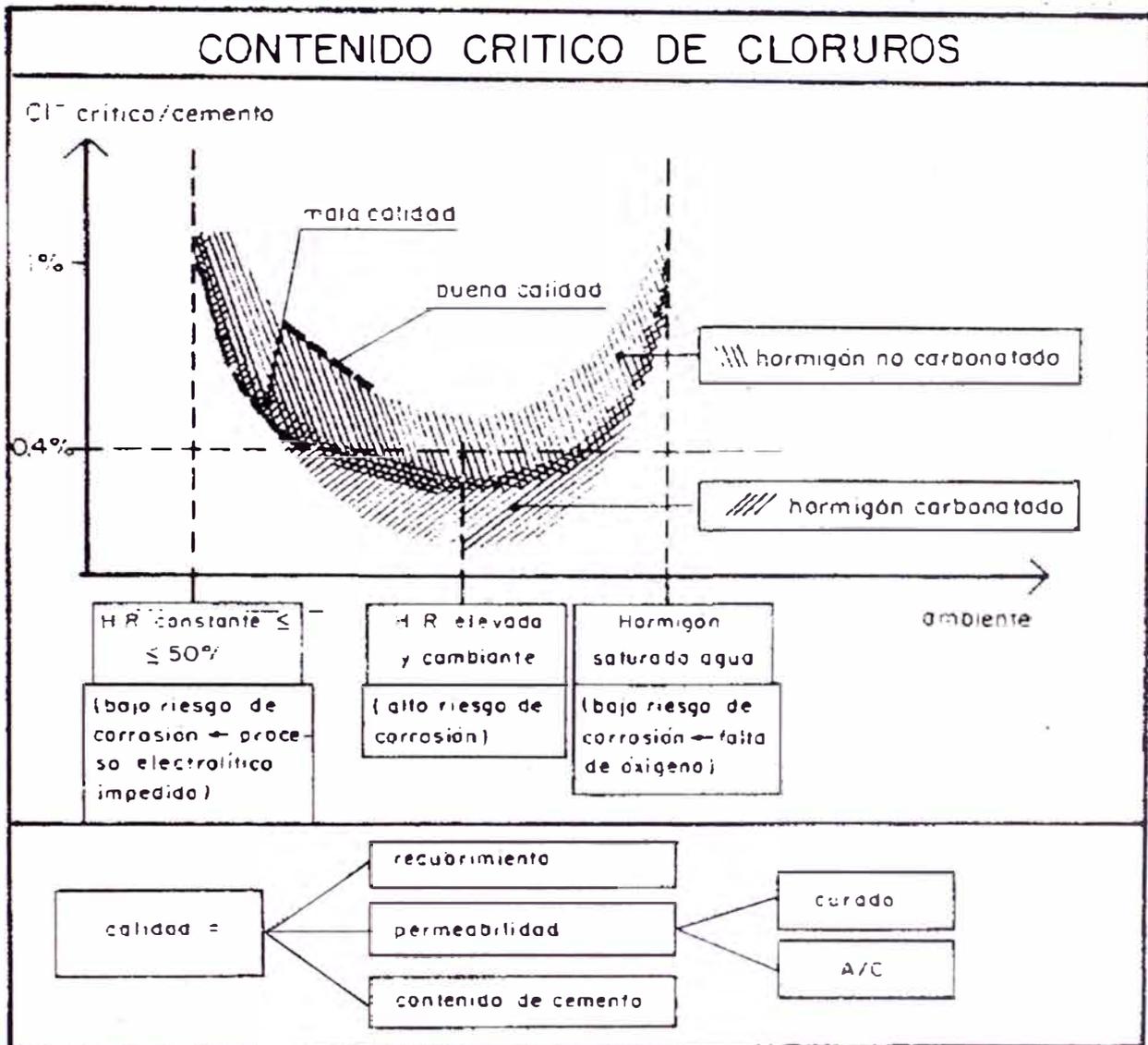


Figura 1.6⁽⁸⁾ Esquema de la variación del contenido crítico de iones cloruro en función de la calidad del concreto y la humedad ambiental.

⁽⁸⁾ Manual Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Subprograma: "Corrosión de Armaduras". Imprime: ACOR, Artes Gráficas, S.A. 1989. Pag. 23

En cuanto a los cloruros que penetran desde el exterior es necesario diferenciar el caso de ambientes marinos, de aquellos donde se hace uso de las sales de deshielo, ya que sus proporciones relativas en el exterior del concreto pueden ser muy diferentes. Así, mientras el agua o ambiente marino contiene una cierta proporción constante de cloruros, en el caso de las sales de deshielo, su proporción exterior será proporcional a la cantidad de sales que se emplean al año debido a la frecuencia y duración de las heladas.

Tres son los aspectos relevantes a tener en cuenta en el caso de los cloruros que penetran desde el exterior:

- *el tiempo que tardan en llegar hasta la armadura*
- *la proporción que induce la despasivación*
- *la velocidad de corrosión que provocan una vez desencadenada la corrosión.*

En cuanto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura en una estructura ya construida, lo importante es averiguar a qué profundidad han penetrado en el momento de hacer la inspección, ya que el recubrimiento del concreto debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estos iones en el tiempo previsto de vida útil de la estructura⁽⁹⁾.

La velocidad de avance de los cloruros es, en general, una función de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X_{Cl^-} = K_{Cl^-} \sqrt{t}$$

X_{Cl^-} = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros

t = tiempo

K_{Cl^-} = constante dependiente del concreto y del medio.

⁽⁹⁾ Bamforth, P.B.: "Factors Influencing Chloride Ingress into Marine Structures". Paper presented at Economic and Durable Construction through Excellence. Dundee. 1993

Ello es debido a que, en general, tanto los procesos de difusión pura, como los de absorción capilar, siguen una ley potencial.

El cálculo riguroso de X es complejo debido a la multitud de parámetros que influyen (porosidad del concreto, tipo de cemento, nivel de contaminación exterior, contenido en humedad del concreto, etc.)

Con fines prácticos - incluyendo el caso de las sales de deshielo - parece mucho más apropiado el uso de la simple ley de la raíz cuadrada: $X = K_{Cl} \sqrt{t}$, ya que engloba de forma aproximada todos los mecanismos posibles. Así, se puede deducir en la Figura 1.7 que es necesario una K_{Cl} entre 3 y 4 mm/año^{0.5}, si se quiere asegurar que los cloruros no lleguen a más de 3 - 4 cm de profundidad entre 50-75 años.

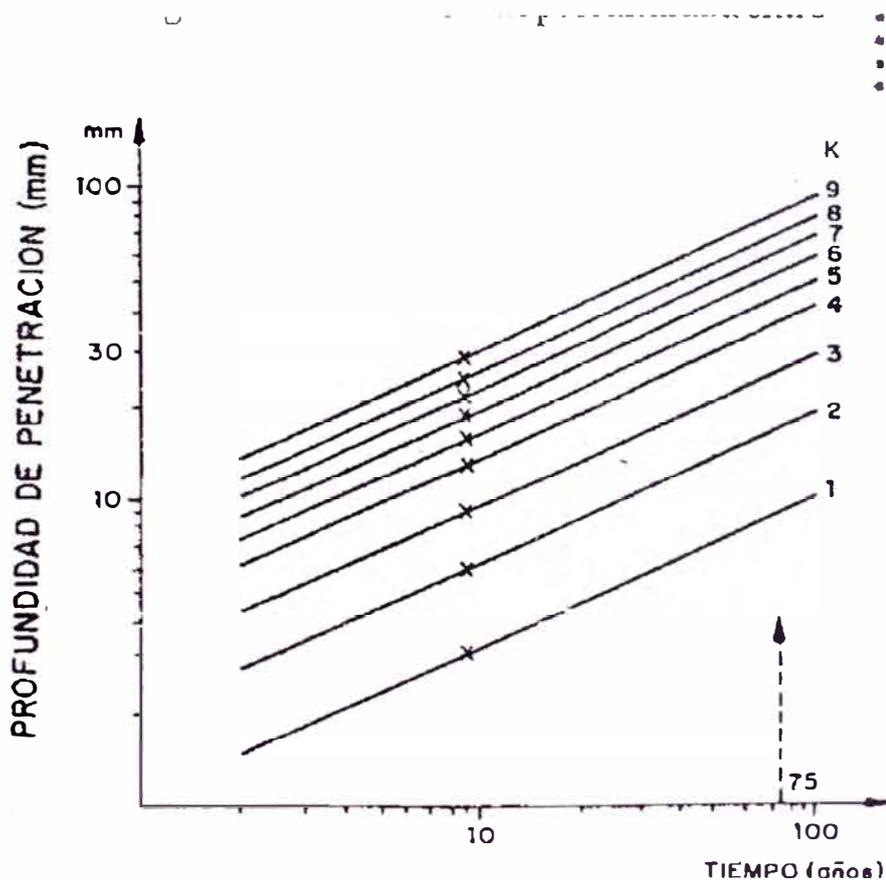


Figura 1.7 Representación doble logarítmica de la ley de la raíz cuadrada del tiempo: el valor de K se manifiesta en líneas paralelas de pendiente 0.5.

En cuanto al límite para la despasivación, puede ser lógicamente diferente en el concreto endurecido que en el fresco, aunque los códigos no abordan este problema y se considera el mismo límite para las dos circunstancias. Sin embargo, se ha detectado que muchos concretos soportan cantidades muy superiores a este límite sin que las armaduras muestren signo alguno de corrosión. Ello es debido a la influencia de factores como el potencial eléctrico de la armadura (que refleja el contenido en oxígeno entre otras circunstancias) y el pH de la solución de los poros (relación Cl^- / OH^-).

Todo ello lleva a la tendencia futura de delimitar una proporción de cloruros que supongan un riesgo estadístico de corrosión de la armadura, en lugar de fijar un valor único para este límite.

b. Sulfatos

El ion sulfato (SO_4^{-2}) puede estar presente en las aguas residuales industriales en forma de disolución diluída de ácido sulfúrico; en las aguas del subsuelo, pocas veces aparece el ion sulfato libre, siendo mucho más frecuentes sus sales, es decir los sulfatos. El contenido de sulfatos, por tanto, será expresado como concentración del anión SO_4^{-2} en mg/L. Antes se acostumbraba enjuiciar el riesgo de degradación basándose en el contenido de SO_3^{-2} de los terrenos o de las aguas. La conversión del valor de SO_3^{-2} a la forma de SO_4^{-2} se logra multiplicando por 0.83.

El ion sulfato forma sales. Los sulfatos perjudiciales para el concreto se encuentran preferentemente en los terrenos arcillosos o en sus capas freáticas. De estas sales las más importantes son las siguientes: Los sulfatos más peligrosos para el cemento Portland son los amónicos, cálcico, magnésicos y sódicos; los sulfatos potásico, cúprico y alumínico son menos peligrosos, mientras que los sulfatos báricos y el de plomo son insolubles y, por lo tanto, inofensivos para el concreto.

La presencia de sulfatos en un agua que está en contacto con una pasta endurecida de cemento, puede incrementar considerablemente la solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar, por una parte el desarrollo de la degradación del concreto por lixiviación. De otro lado, la presencia de sulfatos puede ocasionar una reacción de cambio de base, en el curso de la cual el catión del sulfato será sustituido por Ca^{+2} , originándose la degradación del concreto por reacción de cambio iónico. En ciertas circunstancias puede ocurrir, sin embargo, que la presencia de sulfatos dé lugar a una degradación por expansión debido a la formación de otros componentes estables en la masa endurecida del cemento.

Una de las causas de la nocividad de los sulfatos es el yeso que se forma al reaccionar el anión sulfato del agua con el Ca(OH)_2 liberado por el cemento, el cual se deposita en los poros del concreto en donde se cristaliza con absorción de dos moléculas de agua. Este proceso de reacción química y cristalización, que es acompañado de un incremento de volumen, ejerce una acción expansiva en los poros del concreto - especialmente en los de las capas superficiales - y termina por lograr su desmoronamiento. Se ha indicado que este aumento de volumen es del 17.7%. Si existen además iones Mg^{++} , la formación de hidróxido magnésico produce un aumento de volumen del 19.6%, aproximadamente.

*La degradación producida por los sulfatos es causada en su mayor parte por el contenido de aluminato tricálcico del cemento. El C_3A reacciona - según se ha indicado anteriormente - con el yeso formado por el ion sulfato y el Ca(OH)_2 , o con el yeso contenido en el agua selenitosa original, formándose un sulfo-aluminato cálcico hidratado de gran complejidad y poco soluble. Este compuesto cristaliza absorbiendo 31 moléculas de agua y creando fuertes presiones internas, a causa de su aumento de volumen. Dicha sal compleja es llamada sal de Michaelis-Candlot-Deval, existente en la Naturaleza y llamada **etringita**. Se debe indicar que la etringita sólo se forma para determinados valores del pH.*

Los cristales aciculares (« bacilos » del cemento) formados con absorción de agua de cristalización aumentan de volumen, de tal forma que el concreto se desmorona debido a la fuerte expansión desarrollada.

La formación de cristales aciculares, prácticamente reconocibles, empieza a tener lugar en concentraciones de 254 mg/L. Se forma gran cantidad de sulfoaluminato cálcico, especialmente cuando existen más de 1000 mg/L..

3.1.10 CARBONATACION.

Se denomina así al proceso en el que el dióxido de carbono de la atmósfera reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto y da lugar a una neutralización de todo el material. La reacción de los compuestos de carácter básico NaOH, KOH y Ca(OH)₂ de la fase acuosa del concreto con los componentes ácidos de la atmósfera dióxido de carbono (CO₂) y de azufre (SO₂) dan como resultado carbonatos-sulfatos y agua; el que más abunda es el CO₂, por lo que a este proceso de reducción de la alcalinidad se le llama genéricamente "carbonatación".

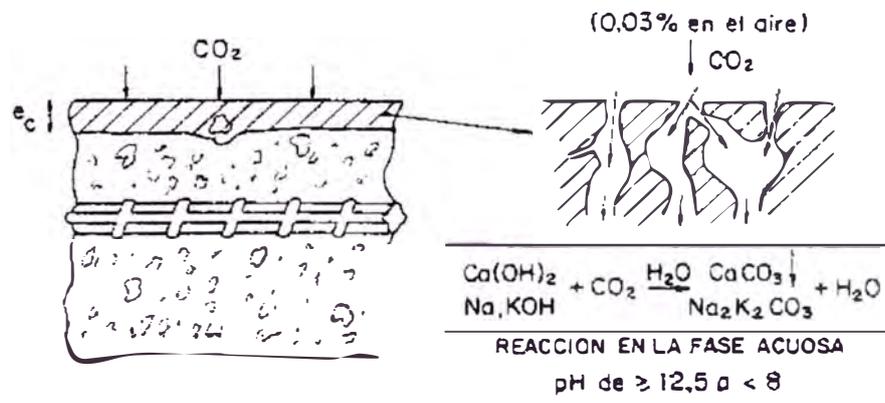


Figura I.8 Carbonatación del recubrimiento del concreto.

La Figura I.9 muestra el cambio abrupto de pH que se produce en el interior del concreto y que es el que da lugar a la aparición de un "frente carbonatado", que se revela muy bien con el indicador fenolftaleína.

Cuando este frente llega hasta la armadura, ésta se despasiva de forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH.

La velocidad de avance de este frente carbonatado es también de vital importancia para calcular el tiempo que tardará éste en llegar hasta la armadura. La velocidad de avance es función fundamentalmente de: a) el contenido en humedad del concreto, b) su porosidad (relación a/c) y c) su contenido en materia alcalina carbonatable.

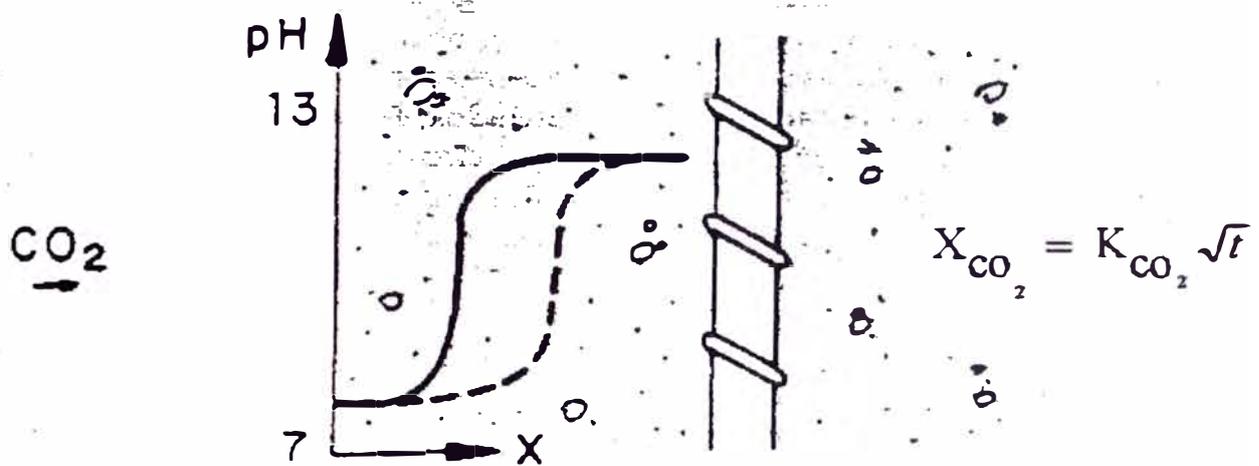


Figura I.9 Variación del pH en el Concreto debido a la Carbonatación⁽¹⁰⁾

El contenido en humedad resulta crucial, ya que como indica la Figura I.10, si los poros están completamente secos, el CO_2 no podrá reaccionar y, si están completamente saturados, su penetración será lentísima, debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua. Sólo cuando los poros están parcialmente llenos de agua (entre 50 y 80%) es cuando se dan las condiciones óptimas para la carbonatación⁽¹⁰⁾.

⁽¹⁰⁾ Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en estructuras de Hormigón Armado. Red Iberoamericana de Durabilidad de la Armadura (DURAR). 1ra Edición 1997. CYTED. Pag 42

También la velocidad de carbonatación puede modelizarse mediante una ley de la raíz cuadrada del tiempo $X_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t}$. Análogamente las constantes de carbonatación (K_{CO_2}) entre 3 y 4 mm/año^{0.5} son los límites para producir concretos cuyas armaduras, situadas a 30-40 mm de profundidad, no sean alcanzadas por la carbonatación antes de 50-75 años.

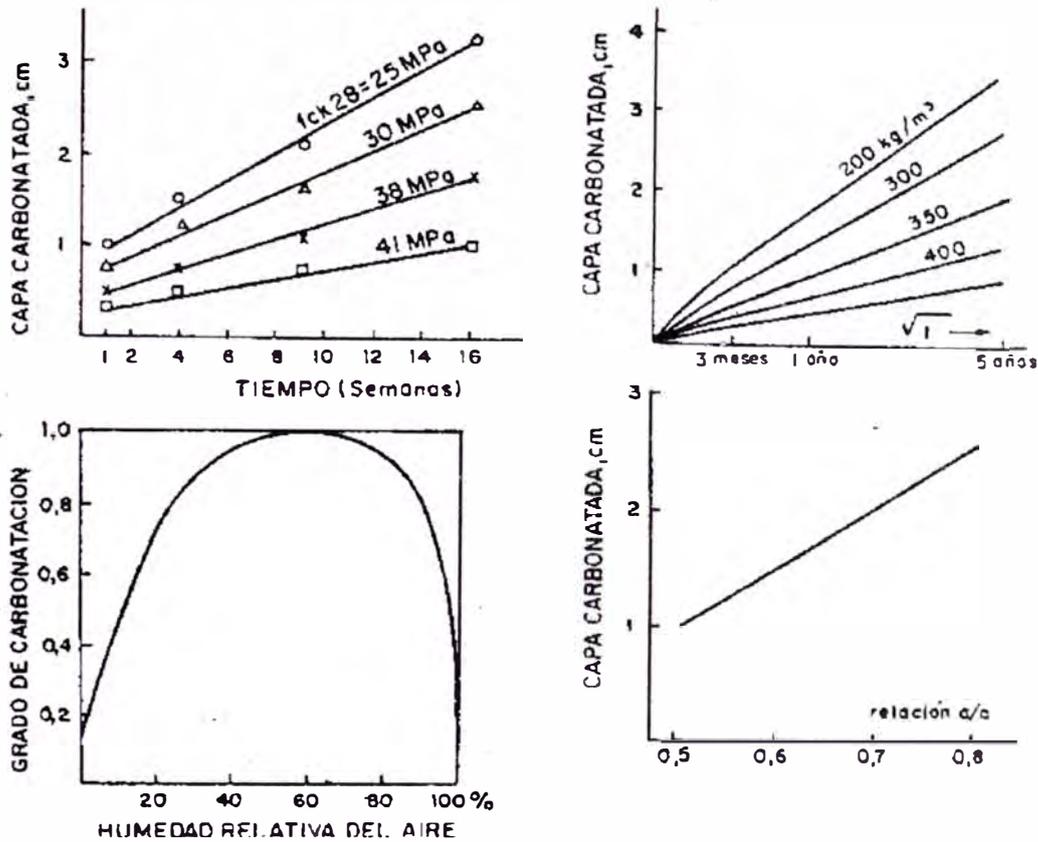


Figura I.10 Efecto del Espesor Carbonatado en la resistencia del concreto, el contenido en cemento, la relación a/c y la humedad ambiental.

La porosidad del concreto es también un parámetro muy importante, ya que los poros capilares de menor tamaño están generalmente siempre saturados de humedad y por tanto inaccesibles a la carbonatación. Los concretos porosos se carbonatan a gran velocidad.

Finalmente, el contenido en CaO y de alcalinos (sodio y potasio) son las materias susceptibles de carbonatarse. Cuanto mayor sea su contenido, menor será la velocidad de carbonatación, de ahí que los cementos portland sin adiciones sean en general más resistentes a la carbonatación.

Una vez carbonatado el concreto a la altura de las armaduras, si la humedad ambiental es más baja que 80%, la despasivación no dará lugar a velocidades de corrosión apreciables. Sólo si la humedad es > 80% (exteriores con temperaturas variables entre el día y la noche o a lo largo del año) se pueden alcanzar contenidos de humedad que den lugar a corrosiones apreciables.

En general las velocidades de corrosión serán mucho menores que en el caso de los cloruros.

Otra circunstancia favorable a tener en cuenta es que, al igual que en el caso de la corrosión atmosférica, la corrosión desencadenada por la carbonatación puede dar lugar a capas de herrumbre con características protectoras que atenúan la velocidad de corrosión subsecuente.

Todo ello hace de la carbonatación un fenómeno mucho menos peligroso que la corrosión por cloruros.

3.1.11 LIXIVIACION POR AGUAS BLANDAS.

La degradación del concreto no sólo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades. El concreto es rápidamente atacado por las aguas blandas agresivas, las cuales tienden a disolver el calcio de la estructura.

La lixiviación del hidróxido cálcico del concreto, es decir, la reducción de su contenido de CaO, conduce, por lo tanto, a la destrucción de los restantes componentes del concreto, silicatos, aluminatos y ferritos hidratados; como consecuencia, el concreto pierde su resistencia y se desmorona. Las combinaciones anteriormente citadas sólo son estables mientras que la concentración del Ca(OH)_2 del agua del cemento sea superior a un cierto valor que recibe el nombre de concentración límite o umbral. Los concretos de cemento Portland son atacados fuertemente y destruidos cuando el contenido de CaO del cemento, determinado analíticamente, se reduce en más de un 20% como resultado de la lixiviación. Este efecto permite que el acero de refuerzo se corroa, ya que pierde su película pasiva al exponerse directamente al ambiente por el desmoronamiento del concreto.

La solubilidad del hidróxido cálcico es modificada en forma considerable por la presencia de otras sales en la disolución; algunos iones la reducen, pero otros (por ej., el ion sodio y el ion cloruro) la acrecientan. T. Thorvaldson llama la atención sobre el hecho de que, al contrario de lo que sucede con los cloruros alcalinos, el cloruro cálcico dificulta la disolución de la cal, pues el hidróxido cálcico y el cloruro cálcico poseen un catión común. En general, las sales cálcicas dificultan la acción disolvente, mientras que las sales alcalinas aumentan la velocidad de disolución. En pequeñas cantidades, también el ion Mg causa una reducción de la disolución, pues parte del Ca(OH)_2 de la capa superficial se transforma en Mg(OH)_2 , que precipita disminuyendo la permeabilidad del concreto.

El signo externo del principio de la destrucción del concreto por lixiviación o circulación por líquidos agresivos es el desprendimiento de cal, que toma la forma de eflorescencias gradualmente crecientes en la superficie del concreto, especialmente en la proximidad de deficientes enlaces estructurales, grietas imprevistas, coqueras, así como en la zona de las oscilaciones del nivel de la capa acuífera.

La filtración y la lixiviación de un concreto pueden ser evitadas o dificultadas por aumento de su compacidad, mediante tratamientos superficiales o por impermeabilización.

3.1.12 PRESENCIA DE COQUERAS EN CONTACTO CON ARMADURAS.

Las discontinuidades producidas por la formación de coqueras interiores hace que haya zonas de la armadura sometidas a la elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con alcalinidad alguna. Estas zonas se corroerán de la misma forma que si estuvieran sometidas a una atmósfera de elevada humedad.

3.1.13 EXISTENCIA DE FISURAS.

Las fisuras estructurales (transversales a las armaduras) constituyen en principio un camino rápido de llegada de los agresivos hasta la misma.

Las fisuras del concreto, originadas por sollicitaciones mecánicas sobre la estructura, se disponen, en general, en planos perpendiculares a las armaduras puesto que éstas se colocan precisamente para absorber las tensiones de tracción que el concreto por sí solo no puede soportar. Sin embargo, limitar la deformación en tracción del acero para que no supere la de rotura en tracción del concreto y así evitar las fisuras transversales supone un desperdicio económicamente inaceptable de la capacidad de las armaduras.

Las fisuras que acompañan las armaduras en su misma dirección son, en general, resultantes de un proceso de corrosión ya iniciado. Pueden sin embargo, aparecer también por procedimientos constructivos incorrectos, como por una retracción de fraguado en ciertas condiciones, estribos con muy bajo rendimiento, estados tensionales de compresión elevados por efecto del módulo de Poisson.

La abertura máxima de fisuras se limita, entre otras exigencias, por la durabilidad de la armadura. Los códigos suelen limitar el ancho de fisura a valores entre 0.1 y 0.3 mm.

La incidencia de la abertura de la fisura en la corrosión de la armadura depende de factores como:

- *la agresividad del medio ambiente*
- *el recubrimiento de la armadura*
- *la calidad del concreto*

En la actualidad existe la tendencia a considerar que la mayor o menor agresividad no depende del tamaño de la abertura como tal, sino que se piensa que por debajo de un determinado valor de la abertura de la fisura (entre 0.3 y 0.4mm), ésta no incremento el riesgo de ataque.

La tendencia actual en relación a la abertura máxima de fisuras para estructuras de concreto armado es pues, acotarla por el valor de 0.4 mm al considerarse que por encima de este valor el riesgo de ataque no se incrementa. Igualmente se limita indirectamente la abertura por recomendaciones constructivas: recubrimiento de la armadura, diámetros y espaciamientos entre barras y calidad del concreto (a/c, adiciones).

En cuanto a las fisuras longitudinales debidas a asentamientos tradicionales del concreto o a retracción plástica, se puede asimismo considerar que se comportarán, en cuanto a la durabilidad, de forma similar a las transversales. Aunque el área de armadura expuesta al ataque es mayor en las fisuras longitudinales, este hecho se balancea con la circunstancia de lo muy localizado que es el ataque en las transversales.

3.2 FACTORES DE DETERIORO EN EL CONCRETO.

El concreto ha probado ser un material esencialmente durable, sufre sin embargo, en muchos casos, deterioro prematuro debido a factores internos o externos, cuando están dadas determinadas características del material y del medio. En muchos casos el deterioro se evita tomando medidas preventivas, que requieren para ser adecuadas, del conocimiento de los agentes agresivos y de la interacción de los factores que afectan la durabilidad. El deterioro, la

generalidad de las veces es consecuencia de una elección imperfecta del concreto, para ser usado en un medio determinado, con las características de ese medio.

Una de las ventajas del concreto es la posibilidad de poder obtener propiedades determinadas con la selección apropiada de cemento, agregado y aditivos y sus proporciones. La performance del concreto estará influenciada además, por el diseño y las prácticas constructivas (mezclado, transporte, colocación, consolidación, curado, etc.).

3.2.1 DOSIFICACION DEL CONCRETO.

El concreto debe ser sólido, homogéneo, compacto, resistente y poco poroso, que garantice además de sus significativas prestaciones mecánicas, la protección de la armadura de acero de la estructura, de las acciones agresivas de los agentes externos.

La dosificación del concreto es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de este, como elemento protector del acero de refuerzo.

El concreto que envuelve las barras de acero de una armadura debe cumplir una doble función protectora: a) como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y b) creando una capa pasivante sobre el acero - en virtud de su alcalinidad - que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido. Teniendo en consideración estas dos funciones del concreto de recubrimiento del acero, es determinante dosificarlo por métodos que proporcionen su máxima compacidad, lo que significa garantizar su mínima porosidad.

La porosidad de la masa del concreto la aporta fundamentalmente la pasta de cemento endurecida y es a través de ella que el agua ejerce su función de transferir los elementos agresivos externos, razón por la cual la

relación agua - cemento, el grado de hidratación y la cantidad de pasta son factores determinantes en la cantidad y tipos de poros en el concreto. Los nuevos conocimientos científicos avalados por la práctica de producción, aportan que en el diseño de las mezclas del concreto hay que tener en cuenta los siguientes factores que garantizan su máxima compacidad y por ende, su durabilidad:

- a) La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor volumen de vacío que será ocupado por la pasta de cemento endurecida.*
- b) La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.*
- c) La influencia en la relación agua-cemento, la cual podrá ser mejorada sustancialmente con el uso de aditivos químicos.*
- d) La influencia del grado de hidratación del cemento en la cantidad de poros del concreto endurecido.*
- e) La influencia de la característica de los agregados que se emplean en la calidad final del concreto.*

3.2.2 LA COMPACIDAD Y HOMOGENEIDAD

La compacidad del concreto es la propiedad más importante del mismo a los efectos de su resistencia a la penetración de los agentes agresivos externos. Ella es inversamente proporcional a la porosidad y mientras más alta sea la primera, expresa en que magnitud está protegido el acero de refuerzo contra los ataques de los cloruros, que son los agentes agresivos más importantes.

La compacidad del concreto esta expresado por la cantidad de materia sólida que esta contenida en una unidad cúbica, o es la relación entre el volumen sólido y el volumen aparente total. Esta se mide como la relación entre la suma de los volúmenes absolutos de materias sólidas (piedra, arena y pasta de cemento endurecido) contenido en un metro cúbico de concreto, referido al volumen aparente del mismo.

La compactación es función, principalmente, de la cantidad y calidad de los materiales y de la adecuada proporción entre ellos. Sin embargo, cumpliéndose con esta condición, la compactación puede afectarse por un mal mezclado y un mal transporte, ya que esto afecta la homogeneidad del concreto, propiciando la segregación de los materiales. De igual manera, la segregación puede producirse por un procedimiento deficiente en la colocación del concreto y l o inadecuado proceso de compactación.

Las mezclas con baja relación a l c menores a 0.40 son usados en ambientes agresivos por la alta protección brindada al refuerzo (baja porosidad y alta alcalinidad). Sin embargo, un curado deficiente de estas mezclas impide la hidratación total del cemento, induciendo esto a un déficit de formación de gel que se manifestará en un incremento de la porosidad y por lo tanto disminución de su compactación.

Por otra parte, la homogeneidad del concreto es la cualidad por la cual los distintos componentes del mismo aparecen igualmente distribuidos en toda su masa, de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la estructura fabricada con el mismo concreto, resulten prácticamente iguales. El concreto, por su origen, es un material heterogéneo y se puede lograr su homogeneidad mediante un adecuado proceso tecnológico de producción, transporte, colocación, compactación y curado.

De tal manera que un concreto que tenga una adecuada compactación y homogeneidad garantizaría la protección de la armadura, en el ambiente específico para el cual fue diseñada la mezcla. En la práctica, para obtener esto se debe cumplir con una serie de actividades secuenciales, las cuales se encuentran íntimamente ligadas entre sí. Estas actividades son: buena selección y proporcionamiento de los materiales, buena operación de mezclado y buena calidad en la ejecución de los procedimientos de transporte, colocación, compactación, curado y donde sea aplicable, una cuidadosa operación de desmolde.

CAPITULO IV

METODOS DE PREVENCION Y PROTECCION CONTRA LA CORROSION

Los métodos de protección y control de corrosión se basan en eliminar alguno de los cuatro elementos que conforman la celda de corrosión (ánodo, cátodo, conductor iónico, conductor electrónico). Diversos métodos se han utilizado para proteger al concreto de la corrosión, comenzando por la calidad de los constituyentes de la mezcla (controlando las propiedades físico-químicas). Indirectamente, se puede minimizar la corrosión con pinturas, revestimientos del acero y recubrimientos sobre el concreto, con protección catódica, agregando inhibidores de corrosión, removiendo los iones cloruros y realcalinizando el concreto. Estos dos últimos métodos se encuentran en período de investigación.

En estructuras nuevas, el uso de un buen concreto sería la mejor solución ya que no existe mejor protección del refuerzo de acero que la película pasivante formada por la hidratación del cemento. Al respecto existen reglamentos y normativas en diferentes países (CEB, ACI, etc.), que dan información específica dependiendo de la agresividad del ambiente al cual estará expuesta la estructura.

En estructuras existentes, el control de corrosión dependerá del diagnóstico de la patología determinada. Sin embargo es importante indicar que aun con todas las investigaciones realizadas sobre el particular todavía existe incertidumbre al respecto. A continuación se describirán brevemente estas técnicas de protección contra la corrosión. Se debe decidir entre una protección directa sobre el acero o a través del concreto.

En la tabla 1.2 se detallan los métodos de protección que se aplican para minimizar los efectos de la corrosión del acero de refuerzo del concreto armado.

Tabla I.2. Técnicas de Control de Corrosión



4.1 PROTECCION DIRECTA DEL ACERO

a. Recubrimientos de resinas epoxi.

Se ha investigado mucho sobre armaduras recubiertas, siendo el uso de "epoxis" (recubrimientos epóxicos) y galvanizados los más usados en experiencias de campo.

El recubrimiento epóxico protege por barrera, de allí que cualquier poro/daño en el revestimiento es perjudicial para la protección del acero. Los resultados sobre el particular no han sido muy halagadores y actualmente existen muchas estructuras donde este método ha sido aplicado, que muestran corrosión severa de la armadura, con el agravante que el uso de cualquier otro sistema de control incluyendo protección catódica podría no ser efectivo si a la armadura no se le elimina el recubrimiento.

Los recubrimientos del acero de refuerzo con pinturas epoxi se han extendido considerablemente en USA aprovechando su excelente adherencia al concreto y al acero y su escasa permeabilidad a los cloruros. Como contrapartidas pueden señalarse su precio, relativamente elevado, su propia durabilidad en el concreto y la falta de experiencia en cuanto a resultados de muy larga duración.

b. Galvanización del acero de refuerzo.

Desde la primera aplicación práctica del galvanizado por inmersión para proteger el acero de refuerzo, ya en 1931, se ha recurrido frecuentemente a él bajo el supuesto de que la superior resistencia del cinc a los cloruros, en comparación con el acero, y el menor volumen de sus productos de corrosión, podrían retrasar considerablemente el deterioro de las estructuras de concreto armado en ambientes especialmente agresivos, encontrando tanto convencidos partidarios como detractores. Las principales cuestiones que conducen a este estado de confusión son:

- *Si la protección complementaria proporcionada por el recubrimiento de cinc es suficiente en concretos fuertemente contaminados con cloruros.*
- *Si el cinc es estable en un medio de alcalinidad tan elevada como el concreto.*
- *El posible riesgo de fragilización del acero por el hidrógeno desprendido durante las primeras horas de contacto entre el galvanizado y el concreto.*
- *Si la adherencia entre el concreto y los refuerzos resulta perjudicada por el galvanizado y si permanece por encima de las exigencias establecidas en las normas.*

El galvanizado resulta mucho menos susceptible a la carbonatación del concreto que el acero y podría resultar interesante su aplicación, incluso desde el punto de vista estético, en concretos de baja calidad rápidamente carbonatables, ya que retardaría mucho la aparición de manchas de óxidos de hierro y el comienzo del periodo de propagación.

En cambio, en ambientes con muchos cloruros todo parece indicar que la protección complementaria del galvanizado sólo representa un pequeño retardo en la aparición de la sintomatología visible de la corrosión.

c. Protección Catódica.

Este es el único sistema de verdadero control de la corrosión, ya que permite que la armadura se comporte como cátodo, por lo que se ha demostrado su gran utilidad en estructuras de concreto reforzado existentes, aun cuando en los últimos años se ha estado aplicando en estructuras nuevas. En la práctica, en general por razones técnicas y económicas, no se llega a detener la corrosión sino a alcanzar una disminución que garantice el tiempo de servicio. Actualmente existen normas europeas y norteamericanas que dan Instrucciones sobre la aplicación de este sistema de control de corrosión en concreto armado. En todo caso, es imprescindible que todo el acero de refuerzo tenga buena continuidad eléctrica para que la protección catódica sea

efectiva. *La protección catódica en concreto reforzado es una aplicación relativamente nueva de una vieja tecnología.*

La protección catódica se puede aplicar por ánodos de sacrificio o por corriente impresa, siendo este último el sistema más usado a nivel mundial. La protección por ánodos de sacrificio implica la conexión eléctrica entre el refuerzo y un material más activo que el acero, el cual actuaría como el ánodo. Resultados de laboratorio y a escala piloto en campo han demostrado efectividad en el uso de ánodos de aluminio y cinc. Este último ha sido aplicado en diferentes pilotes en campo con resultados satisfactorios. También se ha usado para protección de tuberías de concreto reforzado y pretensado, en suelos de baja resistividad.

En el caso de corriente impresa el ánodo podría ser cualquier material, ya que se utiliza una fuente de energía de corriente continua para inducir corriente que entra en la estructura a proteger, haciéndola cátodo. Sin embargo, en el caso de la protección del acero en concreto en estructuras aéreas, es necesario el uso de materiales (que van a actuar como ánodos) que no produzcan deterioro del concreto, por lo cual deberían ser inertes o con muy bajas velocidades de oxidación.

4.2 PROTECCION INDIRECTA A TRAVES DEL CONCRETO.

a. Morteros de Reparación.

Son materiales constituidos por una mezcla de agregado fino seleccionado y un aglomerante cementante que puede ser de base cemento Portland u orgánica (acrílicos, epóxicos, poliuretanos u otro polímero orgánico). A estos morteros se les puede agregar algunos aditivos (microsilíce, ceniza volante, fibra sintética, escoria de alto horno, etc.).

En general, los materiales basados en resinas se prefieren cuando las secciones a reparar son delgadas y en el caso de reparaciones grandes es preferible utilizar materiales en base de cemento Portland. Sin embargo, al ser

utilizados en el concreto contaminado con iones cloruro, esta reparación puede agravar el problema creando celdas locales de corrosión. Esto es, si se utiliza material polimérico aislante se crearía una celda diferencial de oxígeno, donde el acero por debajo de la reparación, actuaría como ánodo, ya que es la zona donde no llegaría oxígeno. Si se repara con morteros cementicios, se restablecería la película pasiva en el acero debajo de la reparación, el cual actuaría como cátodo, siendo entonces el acero que está alrededor de la reparación el que actúe como ánodo (activo), acelerándose su corrosión por la formación de una celda galvánica. En cualquier caso se debe remover todo el concreto contaminado antes de reparar.

b. Revestimiento.

Estos, al igual que los anteriores, son aplicados sobre el concreto actúan principalmente como barrera física. Entre ellos se pueden incluir:

Revestimientos Hidrófugos: *Son materiales a base de silicona que no sólo repelen la humedad y resisten el desgaste, sino que permiten al concreto respirar naturalmente. Al aplicarse sobre la superficie la penetran impregnándose en ella.*

Membranas Orgánicas Prefabricadas: *Son usadas para colocarse sobre la superficie de concreto de manera temporal o permanente.*

Polímeros Impregnados sobre el Concreto: *Son aplicados como una mezcla reaccionante (monómero + catalizador) sobre una superficie de concreto previamente deshidratada, la cual penetran considerablemente (aproximadamente 1 a 3 cm), polimerizando luego y sellado los poros.*

Otro Revestimientos: *Son aplicados sobre el concreto en forma líquida, formando una película protectora. Han sido eficaces para retardar o evitar la carbonatación del concreto y a la vez son los responsables de presentar la buena apariencia necesaria de las edificaciones de concreto. Entre los más importantes están los epóxicos, acrílicos y poliuretanos. Es bueno destacar los*

productos emulsionados con agua llamados comúnmente látex, a base de acrílicos y muy usados a nivel doméstico. Se utilizan distintos tipos, siendo los más efectivos los barnices para concretos arquitectónicos, como los acrílicos y poliuretanos alifáticos. Para protección como pinturas convencionales está extendido el uso de vinílicos, epóxicos y poliuretanos, entre otros.

c. Extracción de los iones cloruro del concreto.

Esta es una técnica electroquímica, actualmente en desarrollo, donde se aplica un concepto similar al de protección catódica por corriente impresa. Se basa en aprovechar la carga negativa del ion cloruro para ser atraído por un ánodo colocado externo a la superficie de la estructura tratada. En la protección catódica propiamente este efecto se lograría también, pero a largo plazo. La remoción de la mayor parte del cloruro libre y la producción de OH^- permite restablecer la pasivación de la armadura.

d. Realcalinización.

Como el anterior, éste es un proceso que todavía se encuentra en desarrollo. Es un tratamiento temporal que incrementa el pH de la solución acuosa en los poros del concreto, debido a la penetración de un electrolito alcalino desde la superficie exterior. Este proceso repasa la armadura debido a las reacciones electroquímicas que ocurrirían en su superficie. Esta técnica puede ser utilizada para el caso de los concretos carbonatados.

El principio de la realcalinización electroquímica se muestra en la Figura I.11. La técnica involucra el paso de una corriente, a través del concreto, hacia la armadura, por medio de un ánodo colocado externamente sobre la superficie de concreto. Al igual que en la protección catódica se utiliza una fuente de energía de corriente continua, lográndose realcalinizar el concreto mediante varios mecanismos, siendo los más importantes: la electrólisis en los electrodos (alrededor de la armadura cátodo), se generan iones OH^- (por electrólisis del agua y reducción del O_2 difundiendo en el concreto) y electroósmosis, movimiento del electrolito en el concreto hacia el cátodo. Los hidróxidos de

sodio y de calcio son generalmente utilizados como electrolitos cubriendo el concreto y, al penetrar en los poros del mismo, prevendrían futuros decrecimientos del pH, atrapando el CO₂ que pudiese ingresar desde el exterior.

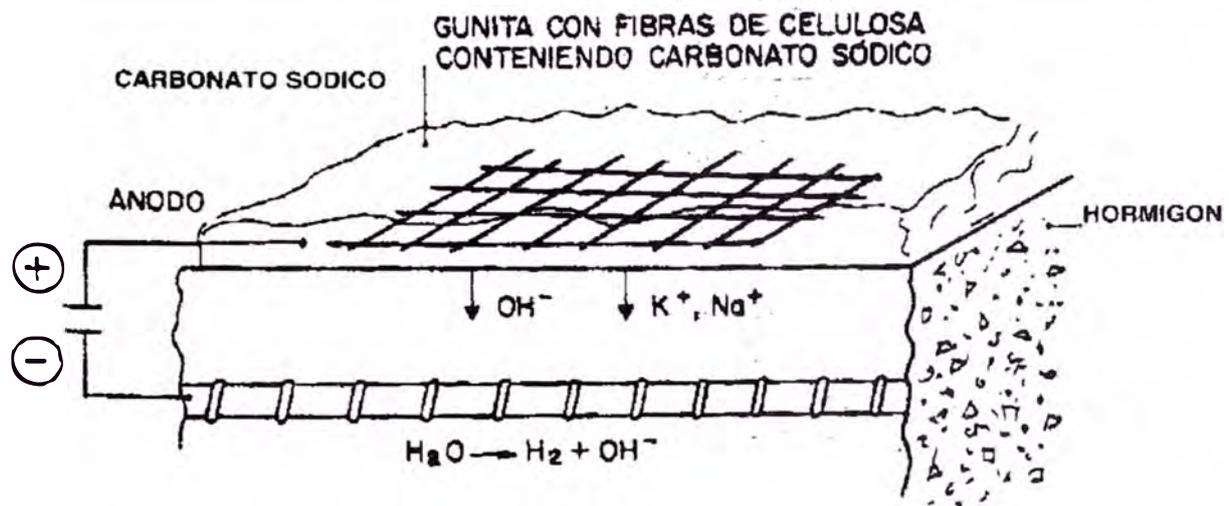


Figura I.11. Principio de realcalinización electroquímica.

e. Inhibidores de Corrosión.

El inhibidor de corrosión es una sustancia que se agrega a la mezcla de concreto para proteger la armadura contra el ataque corrosivo, aunque puede ir en detrimento de las propiedades del concreto. Este método podría ser la mejor solución en aquellos casos donde el concreto se prepara con aguas salobres o marinas, o con arena con alto contenido en cloruros (prácticas no recomendadas). También, en aquellos casos donde se ejecutan construcciones / reparaciones y en zonas de salpique en ambientes marinos.

Uno de los primeros inhibidores de corrosión utilizados en campo ha sido el nitrito de calcio, pero su efectividad depende de la concentración de iones cloruro en el concreto y de la calidad del mismo. Ha sido utilizado como un aditivo del concreto y más recientemente por impregnación en el concreto endurecido. Últimamente se ha estado comercializado con otros inhibidores pero no se tienen resultados de estudios a largo plazo.

A nivel de laboratorio se han estudiado otros inhibidores como el ZnO con resultados satisfactorios, sin embargo su evaluación en campo es muy reciente.

4.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

4.3.1 PREVENCIÓN AL CONCRETO POR ATAQUE DE SULFATOS

La doble acción - química y física - hace necesario afrontar el problema desde dos ópticas diferentes. Para atender el problema de la reacción química será necesario emplear cementos resistentes a los sulfatos. El tipo de cemento recomendado dependerá de la concentración de sulfatos en el medio, suelo o agua, en contacto con el concreto. Los cementos de producción nacional que ofrecen protección contra el ataque de sulfatos son el cemento puzolánico IP, el cemento Tipo II y el cemento Tipo V.

La manera más efectiva para disminuir el riesgo de la penetración de sales y su cristalización dentro del concreto, es empleando concretos de alta calidad, densos, de baja permeabilidad y bien consolidados. Para lograr esto es indispensable limitar la relación agua / cemento de la mezcla a valores de 0.50 ó inferiores y emplear contenidos de cemento del orden de 300 kg /m³ o mayores.

En la Tabla I.3 se muestran las recomendaciones de la Norma E- 060, relativas al tipo de cemento y a la relación agua / cemento máxima que deben emplearse para las diferentes concentraciones de sulfatos. A dichas recomendaciones, en la última columna de la tabla, se ha añadido la recomendación de la norma británica sobre contenidos mínimos de cemento.

Cuando la concentración de sulfatos es muy alta es recomendable, en lo posible, aislar las estructuras del medio agresivo. El aislamiento puede hacerse reemplazando el material contaminado que rodea al concreto, por

material no contaminado. Esta solución no es adecuada en terrenos saturados porque el relleno de material importado tenderá a contaminarse muy rápidamente. En estos casos, lo más adecuado es aislar la estructura de concreto mediante recubrimientos resistentes a sulfatos. La emulsión asfáltica ha probado dar buenos resultados. El aislamiento del fondo de las cimentaciones y losas puede hacerse mediante el empleo de membranas plásticas con juntas selladas.

TABLA I.3 NORMA E - 060
CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS.

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua, presente en el suelo como SO_4 (*) % en peso	Sulfato en Agua p.p.m.	Cemento Tipo	Relación Agua / Cem. Máxima (*)	Contenido mínimo de cemento Kg / m^3 (1)
Despreciable	0.00 - 0.10	0 - 150	(****)	(****)	275
Moderado (**)	0.10 - 0.20	150 - 1500	II	0.50	310
Severo	0.20 - 2.00	1500 - 10000	V	0.45	330
Muy severo	sobre 2.00	sobre 10000	(***) V mas puzolana	0.45	370

(*) Una relación agua/cemento menor puede ser necesaria por razones de impermeabilidad, o por protección contra la corrosión de elementos metálicos embebidos, o por congelación y deshielo (Tabla I.4)

(**) Agua de mar

(***) Debe haberse comprobado que la puzolana es adecuada para mejorar la resistencia del concreto a la acción de los sulfatos, cuando ella es empleada en concretos que contienen cemento portland tipo V.

(****) Para este tipo de exposición no hay limitaciones.

(1) Recomendaciones de las normas británicas.

4.3.2 PREVENCIÓN AL CONCRETO POR ATAQUE DE ÁCIDOS

En el mercado se ofertan diversos productos que cumplen ese fin. Entre ellos tenemos:

- a) Recubrimientos plásticos y elastoméricos como las pinturas epóxicas, los poliuretanos, asfaltos y el caucho clorado. Dan protección al concreto contra soluciones ácidas con pH mayor que 3 en temperaturas normales.*

- b) Revestimientos plásticos y elastoméricos del tipo epóxicos y poliuretanos reforzados con vidrio, neopreno aplicado por rociado con aire a presión o en láminas. Protegen contra los ácidos en ambientes con temperaturas hasta de 70° C.*

- c) Morteros de arena saturada con epoxy o con poliéster, cuando se trata de proteger pisos contra ácidos con temperaturas hasta 70° C.*

- d) Sistemas compuestos tales como cerámica asentada con asfalto o con morteros resistentes a ácidos. Cuando se trata de proteger pisos contra concentraciones de ácidos o combinaciones de ácidos y de solventes, con temperaturas hasta de 100° C.*

Cuando el concreto estará sujeto a ataque de ácidos, además de las recomendaciones de lograr concretos densos y de baja relación de agua cemento será indispensable en muchos casos aplicar recubrimientos de protección para aislar el concreto del medio agresivo.

4.3.3 PREVENCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.

El acero de refuerzo está protegido de la corrosión por el recubrimiento de concreto que le provee una barrera protectora y por el ambiente alcalino producto de una combinación de reacciones químicas en la superficie del acero. Al fraguar, el cemento suelta álcalis, hidróxidos de sodio, potasio y calcio, convirtiendo al medio alrededor de las barras en pasivo, con un pH alto en el rango de 12.6 a 13.5. En este medio alcalino alto se produce una reacción

química en la superficie del concreto, formándose una película protectora que inhibe las reacciones electroquímicas del proceso de corrosión.

La superficie del acero embebida en el concreto permanecerá pasiva mientras subsista un pH alto y no haya presencia importante de cloruros, aunque el oxígeno y la humedad lleguen al acero.

La prevención contra la corrosión involucra a todas las actividades de un proyecto, desde el diseño y detallado, hasta la construcción y el mantenimiento.

a. *Medidas relativas al Diseño y detallado.*

En la etapa de diseño y detallado se toman decisiones que influyen directamente en la durabilidad de las estructuras. Las decisiones para ser correctas tienen que basarse sobre el conocimiento profundo de las características del medio donde estarán inmersas las estructuras y de las características del uso al que estarán sometidas.

Es recomendable que en esta etapa se tomen decisiones correctas sobre aspectos tales como:

Recubrimientos, *estos deben ser compatibles con la agresividad del medio. La norma técnica E - 060 en el acápite 7.9 establece los recubrimientos mínimos. También llama la atención sobre los ambientes corrosivos y otras condiciones severas de exposición. Es de notar que en ciertos ambientes el recubrimiento de concreto puede no ser suficiente como barrera contra la penetración de cloruros y será necesario recurrir a medidas especiales para lograr mayor densidad del concreto y por lo tanto muy baja permeabilidad o en su defecto emplear revestimientos selladores de superficie. Tal es el caso de estructuras en ambientes marinos.*

RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO (ACI 318-99, 7.7.1):

Concreto vaciado contra el terreno y permanentemente expuesto a él:

7.5 cm.

Concreto expuesto a la acción del terreno o al intemperismo:

barras de 5/8" o menores

4.0 cm.

barras de 3/4 o mayores

5.0 cm.

Concreto no expuesto al intemperismo ni en contacto con el terreno:

Losas, aligerados y muros

2.0 cm.

Vigas y columnas, medido al estribo

4.0 cm.

Cáscaras y losas plegadas:

barras de 5/8" o menores

1.5 cm.

barras de 3/4 o mayores

2.0 cm.

En ambientes corrosivos o en otras condiciones severas de exposiciones, debe aumentarse adecuadamente el recubrimiento de concreto tomando en cuenta la densidad y porosidad del concreto, en caso contrario deben emplearse otros sistemas de protección.

Control de fisuración. *La fisuración del concreto es un medio directo para el ingreso de aire, humedad y cloruros, que propician la corrosión y acortan el plazo para su inicio. La fisuración generalmente se explica por razones de trabajo estructural, tal como las fisuras por flexión, o, por tracciones debidas a contracción del concreto. En el primero de los casos, es necesario limitar el ancho de fisuras con una distribución y cantidad de refuerzo adecuados. La contracción debe controlarse con juntas de control, mezclas diseñadas al propósito y con procesos constructivos adecuados.*

Sección de los elementos. *Los agentes agresivos del medio penetran al concreto a través de las superficies. Cuanto menor sea la superficie expuesta menor será la contaminación del concreto. En el diseño debe buscarse secciones de perímetros mínimo. Será mejor, en este aspecto, las*

secciones rectangulares que las secciones con patín, y una sección rectangular ancha que dos angostas, etc.

Drenajes. *El diseño de las estructuras no debe dejar superficies donde pueda acumularse el agua. Debe proveerse drenajes para la evacuación de aguas sean éstas de cualquier origen. El agua acumulada ingresa a la masa de concreto y al hacerlo aumenta la conductibilidad eléctrica, facilitando los procesos de corrosión galvánica. El agua debe drenar sin grandes recorridos horizontales y sin humedecer innecesariamente las superficies verticales. El diseño de los drenes debe evitar el humedecimiento del concreto por capilaridad. Los drenes que atraviesan el concreto deben ser de materiales libres de corrosión.*

b. Medidas relativas a los materiales.

Damos énfasis particular a aquellas que tienen que ver con las características del concreto. En la generalidad de los casos es más efectivo y económico lograr concreto de calidad que brinden protección duradera al refuerzo que recurrir a medidas de protección adicionales o correctivas. Las recomendaciones son las siguientes:

1) *Lograr concretos de baja permeabilidad. Este es un objetivo primordial. Las ventajas que se logran con concreto de baja permeabilidad son múltiples:*

Ritmo de carbonatación más lento. En concretos densos, el ritmo de carbonatación disminuye sustancialmente y puede detenerse totalmente a 10 o 15 mm de la superficie. En cambio en concretos permeables el ritmo de carbonatación es más rápido - por la mayor superficie expuesta- y la penetración será incontrolado.

El ingreso de agua será restringido y en un determinado medio ambiente, menor cantidad de agua penetrará y quedará retenida en la masa de concreto. En consecuencia dichos concretos tendrán menor conductividad eléctrica, y se privará al proceso eléctrico de uno de sus componentes

esenciales: la humedad. La penetración de sales - cloruros y sulfatos - será restringida y más lenta.

Para lograr concretos de baja permeabilidad será necesario:

a) Controlar el contenido de cemento en la mezcla y la relación agualcemento máxima. La norma técnica E-060 no da contenidos mínimos de cemento ni fija límite a la relación agualcemento para concretos en ambientes corrosivos.

TABLA I.4 NORMA E - 060
CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICION

Condiciones de Exposición	Relación agua / cemento máxima
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.....	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.....	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales (*).....	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.....	0.45
b) Otros elementos.....	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de estas aguas.....	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm.....	0.45

(*) La resistencia $f'c$ no deberá ser menor de 245 Kg/cm² por razones de durabilidad.

El ACI 318-99 estipula la resistencia mínima a la compresión en concreto expuestos a diversos tipos de agresividad. Para concretos expuestos a corrosión fija como resistencia mínima 350 kg/cm² y limita la relación agualcemento máxima a 0.40. Ver Tabla I.5. La primera limitación pretende fijar un nivel mínimo de protección alcalina además de asegurar un contenido de cemento que permita la posibilidad de concretos densos. Para reducir la relación agualcemento, sin perder la trabajabilidad de la mezcla es conveniente el uso de aditivos reductores de agua.

**TABLA I.5 REQUISITOS PARA CONDICIONES DE EXPOSICIONES ESPECIALES.
ACI 318-99**

<i>Condición de exposición</i>	<i>Concreto con agregado de peso normal; relación máxima agua / materiales cementosos en peso.</i>	<i>Concreto con agregado normal y ligero, f'c mínima, Kg / cm²</i>
<i>Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.</i>	0.50	280
<i>Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.</i>	0.45	315
<i>Para proteger de la corrosión del refuerzo en el concreto expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre o salpicaduras del mismo origen.</i>	0.40	350

- b) *Emplear agregados con granulometría continuas con tamaño máximo 3/4".*
- c) *Consolidar el concreto por vibración de manera de eliminar vacíos y el aire entrampado.*

d) *Limitar el revenimiento de la mezcla (slump). Mezclas muy sueltas propician el asentamiento del concreto plástico, por debajo de la armadura superior, generando vacíos en el concreto que debilitan la sección, y que llevan a la fisuración del concreto superficial.*

e) *En estructuras que estarán sujetas a ambientes especialmente corrosivos, es recomendable el empleo de aditivos densificadores de la mezcla. Tal es el caso de la microsilica que reduce sustancialmente la permeabilidad de la mezcla.*

2) *Controlar rigurosamente el contenido de cloruros en los ingredientes de la mezcla, es decir, en los agregados, en el agua y en los aditivos.*

El contenido total de cloruros no debe exceder del límite dado en la norma E-060 (Ver Tabla I.6) para cloruros solubles en agua de una muestra de concreto endurecido.

TABLA I.6 NORMA E - 060
CONTENIDO MAXIMO DE ION CLORURO.

<i>Tipo de Elemento</i>	<i>Contenido máximo de ion cloruro soluble en agua en el concreto expresado como porcentaje en peso del cemento.</i>
<i>Concreto pretensado</i>	<i>0.06</i>
<i>Concreto armado expuesto a la acción de cloruros</i>	<i>0.10</i>
<i>Concreto armado no protegido que puede estar sometido a un ambiente húmedo pero no expuesto a cloruros (incluye ubicaciones donde el concreto puede estar ocasionalmente húmedo tales como cocinas, garajes, estructuras ribereñas y áreas con humedad potencial por condensación).</i>	<i>0.15</i>
<i>Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad durante su vida por medio de recubrimientos impermeables</i>	<i>0.80</i>

En dicha Tabla el contenido de cloruros se expresa como porcentaje en peso del cemento en la mezcla. La evaluación de cloruros debe hacerse en función a las proporciones de la mezcla. Debe tenerse en cuenta que una parte del total de cloruros reaccionará con el cemento durante la hidratación y se convertirán en insolubles y por tanto no dañino.

En muchos lugares de la costa se ha reportado canteras de agregados con muy alto contenido de cloruros solubles (Marcona, Chincha, Pisco u otros). En estos casos y ante la dificultad de abastecimiento alternativo, es indispensable lavar los agregados para bajar su contenido de sales solubles. Luego del lavado los agregados deben analizarse por cloruros para establecer sí el contenido de cloruros ha disminuido, a niveles compatibles con los límites establecidos por la norma.

Es recomendable ser conservador en los contenidos de cloruros que admitimos, ya que la agresividad de éstos puede aumentarse por presencia de otras sales despasivantes tales como los sulfatos.

El agua en muchos casos puede ser un ingrediente que adiciona cantidades apreciables de cloruros. En centros urbanos por efecto del tratamiento, el agua ya tiene cloruros y debe establecerse su contenido. El agua de pozo debe también ser analizada. Cuando éste está cercano al mar, por lo general el agua tiene salinidad alta y no es recomendable emplearla sin un análisis que establezca el contenido de sales y en particular cloruros.

En el empleo de aditivos en el concreto, como aceleradores u otros fines, debe tenerse especial cuidado de no incluir cloruros en la mezcla. Para el efecto deberá analizarse la composición química del aditivo propuesto y desechar en lo posible aquellos en cuya formulación haya cloruros.

3) Empleo de barras protegidas contra la corrosión. El empleo de barras protegidas por resinas epóxicas es una práctica probada extensamente en los países desarrollados del hemisferio norte. El recubrimiento epóxico no reduce

significativamente la adherencia. De preferencia las barras deben ser revestidas luego de su habilitado.

El procedimiento más efectivo para revestirlas es por fusión. Este procedimiento que garantiza la uniformidad del revestimiento y la ausencia de discontinuidades en éste.

c. *Medidas relativas a la obra*

El medio más efectivo para lograr la durabilidad deseada en una estructura de concreto, es asegurar que el concreto desarrolle su calidad potencial. Será de particular importancia no sólo el logro de la resistencia a la compresión, sino también, su densidad, su baja permeabilidad entre otras propiedades.

Para asegurar esto, los procesos constructivos de mezclado, transporte y colocación, consolidación deben ceñirse a la buena práctica constructiva establecida en normas como el ACI 318, ACI 301 y norma técnica nacional E-060 y deben ser controlados en todos sus aspectos.

De particular importancia será:

1. El almacenamiento de los materiales. Debe evitarse su contaminación con sustancias deletéreas. En ambientes marinos es necesario proteger las barras no sólo para evitar su oxidación por humedad sino también para evitar su contaminación por la brisa cargada de cloruros. En todo caso es recomendable lavar las armaduras con agua potable inmediatamente antes del llenado del concreto.

2. Curado. Del curado del concreto dependerá no sólo el logro de la resistencia del concreto sino también la calidad de sus superficies y en gran medida su fisuración. El curado temprano y prolongado por vía húmeda es el más efectivo. Cuando el curado se hace con membranas es necesario certificar previamente la performance de éstas.

En superficies horizontales, el aniego continuado es el más efectivo. Las "arroceras" para este propósito deben formarse con arena libre de contaminantes. En ciertos lugares las arenas que se encuentran en el sitio provienen de zonas costeras y pueden tener contenidos elevados de cloruros. Su empleo en las arroceras no es conveniente, porque producirán corrosión de cualquier barra de acero que sobresalga y porque los cloruros de la arena lavados por el agua serán introducidos en el concreto joven.

El curado con membranas no es tan efectivo como el curado por vía húmeda, Previamente a su empleo es conveniente certificar su performance mediante pruebas comparativas. Ensayos realizados han demostrado que hay "curadores" que no sellan las superficies y la pérdida de humedad es similar a la que ocurre en concreto expuesto al ambiente.

3. *Encofrados. Los elementos de fijación de los encofrados que atraviesan el concreto deben ser removibles. No debiendo quedar por ningún concepto elementos metálicos, alambre y otros, sin el recubrimiento especificado. La práctica común de fijar los encofrados con alambre amarrado a la armadura, para luego del desencofrado cortar dichos alambres picando el concreto localmente y resanándolo, es tremendamente dañina. Además del daño estético y estructural que se ocasiona con el picado, el resane, la generalidad de las veces, no tendrá la misma calidad del concreto de origen. Se fisurará y será el camino para la corrosión del refuerzo.*

d. *El mantenimiento de Estructuras de Concreto Armado.*

Para asegurar la durabilidad de las estructuras es necesario darles mantenimiento periódico dentro de los lineamientos indicados anteriormente.

En estructuras de concreto armado, las dos actividades que comprende el mantenimiento: revisión periódica de la estructura y restitución de sus características, tienen las particularidades siguientes:

1. *Revisión. Las estructuras deben ser inspeccionadas periódicamente. Las características de la inspección y su periodicidad, dependerán de la agresividad*

del medio, tanto ambiental como de operación. La inspección debe iniciarse con la revisión ocular, para detectar daños tales como fisuras, rajaduras, despostillamiento, manchas en el concreto, concreto desprendido, etc. Todos los daños deben registrarse en planos y fotográficamente y luego clasificarse de acuerdo a su origen y evaluarse para establecer su gravedad.

En medios agresivos la inspección deberá comprender también mediciones para establecer si hay procesos de corrosión en marcha, aún en los casos en que éstos no se hayan manifestado visualmente. Las mediciones comprenderán penetración de la carbonatación en concreto, mediciones de diferencias de potencial y, eventualmente, toma de muestras de concreto para establecer el contenido de cloruros y su penetración en la masa del concreto.

En estructuras con revestimientos selladores de superficie, deberá revisarse el estado de los revestimientos cada año y resanar los daños que se detecten.

En estructuras de concreto con protección catódica será necesario monitorar el comportamiento de la protección cada año por lo menos, una periodicidad semestral es deseable.

2. Restitución. La restitución de las características estructurales y de durabilidad de la estructura consiste en la reparación de los daños encontrados en la estructura. En estructuras sujetas a programas de mantenimiento ceñido, los daños por lo general no revisten gravedad y son atendibles de manera no traumática. La reposición consistirá en sellado de fisuras, resane de revestimientos.

En los casos en los que se haya detectado carbonatación avanzada y procesos de corrosión incipientes, será necesario además, tomar medidas para cortar el proceso. Ellas pueden incluir sellado de superficies, para detener la carbonatación y cortar el abastecimiento de oxígeno y humedad, indispensables para el proceso de corrosión.

En estructuras no sujetas a programas de mantenimiento, los daños que se encuentren pueden ser muy graves y debidos a procesos tales como: corrosión generalizada por carbonatación del concreto, corrosión por ingreso de cloruros, ataque por sulfatos con destrucción del concreto, etc.

La restitución de la capacidad de los elementos puede ser traumática y requerir en muchos casos el reemplazo de los elementos.

Los procedimientos de reparación dependerán del tipo e intensidad de los daños. Por lo general incluirá remoción de concreto, soldadura de barras, uso de epóxicos y concretos con superplastificantes, etc.

Los proceso de reparación deben ser compatibles con la mecánica de los procesos causantes de los daños, especialmente cuando éstos se deben a corrosión galvánica. Se llama la atención sobre la posibilidad de la creación de nuevas celdas galvánicas, por las diferencias de potenciales entre las áreas de la estructura reparada y aquellas que no han sido tocadas.

CAPITULO V

PROBLEMAS POR ATAQUE DE SULFATOS EN EL PENAL DE CAÑETE

5.1 BREVE DESCRIPCION DE LA OBRA.

OBRA : Construcción del Nuevo E. P. de Cañete.

LP.Nº : L. P. N' 01 - 96 - INPE - OEI

UBICACIÓN: Cantera Alta. - Distrito Nuevo Imperial - Provincia de Cañete -
Departamento de Lima.

FECHA PRESUPUESTO BASE : 30 de Junio de 1996.

MONTO PRESUPUESTO BASE : S/. 17'690,826.93

MONTO CONTRATADO S/. 12'190,826.93

FACTOR DE RELACION 0.68910

SISTEMA DE LICITACION · Suma alzada

PLAZO DE EJECUCION · 305 días calendarios

CONTRATISTA : ARAMSA Contratistas Generales

SUPERVISION : ACRUTA - TAPIA Ingenieros S.A.

FECHA DE INICIO DE PLAZO CONTRACTUAL : 01 ABRIL 97

FECHA DE TERMINO DE PLAZO CONTRACTUAL : 30 ENERO 98

UBICACIÓN.

El terreno donde se ubica el proyecto del nuevo penal se encuentra en el Cerro denominado Cantera Alta. Distrito Imperial. Provincia de Cañete con un área de 6.5 Has.

Se tendrá en cuenta las siguientes áreas que tienen simple carácter referencial.

CUADRO DE AREAS

AREA CONSTRUIDA	NETA	AREA TOTAL
<i>1er. Piso</i>	<i>11,974.00 m2.</i>	<i>11,974.00 m2.</i>
<i>2do. Piso</i>	<i>3,294.00 m2.</i>	<i>3,294.00 m2.</i>
TOTAL	15,268.00 m2.	15,268.00 m2.

5. 1.1 USOS DE SUELO:

Se considera tres zonas bien definidas dentro de los linderos de la propiedad, como son: ZONA ADMINISTRATIVA, ZONA INTERMEDIA o SERVICIOS Y ZONA DE INTERNAMIENTO.

5.1.2 PLANTEAMIENTO ARQUITECTONICO:

OBJETIVO:

La Construcción del Nuevo Establecimiento Penitenciario de Cañete es la respuesta coherente al problema carcelario del país, específicamente a la provincia de Cañete, contribuyendo así a la pragmatización de los reglamentos penitenciarios y al cumplimiento en general de los Derechos Humanos, en la nueva Infraestructura penitenciaria.

DESCRIPCION:

Para el desarrollo del Proyecto, se ha tomado en consideración el Programa de Necesidades confeccionado por el INPE, el Código de ejecución penal y las normas mínimas de tratamiento de las Naciones Unidas.

El Planteamiento Arquitectónico, corresponde a un diseño racionalizado ya que el sistema está basado en una estricta vigilancia y es para sentenciados con Régimen Cerrado.

La volumetría de las edificaciones es de forma simple, creándose espacios bien definidos que conforman grupos alrededor de espacios abiertos.

Las circulaciones interiores se basa en el principio de que debe existir un eficiente servicio de control y vigilancia, es por esta razón que las circulaciones entre los diferentes bloques son claras y fluidas sin cruces, ni obstáculos que distraigan la visión.

Las circulaciones exteriores que dan acceso hacia los Torreones de Vigilancia se realiza a través de la Tierra de Nadie, la misma que se encuentra delimitada con un cerco de malla metálica.

El Programa de necesidades determina las siguientes zonas:

- a) **Zona de Internamiento.**
 - Exclusa de Control de Ingreso*
 - Pabellones de Internamiento*

- b) **Zona Administrativa.**
 - Control y Admisión*
 - Policía Nacional del Perú*
 - Sala de Juzgamiento*
 - Espera de Visitas*
 - Estar de Visitas*

Visitas Intimas
Auditorio
Administración Inpe
Centro de Salud
Guardería Infantil
Cocina y Lavandería

c). **Zona de Servicios Complementarios.**

Taller de Mantenimiento
Casa de Fuerza
Sub Estación Eléctrica
Almacén General
Patio de Maniobras
Cuarto de Bomba
Cisterna y Tanque Elevado.

a) **ZONA DE INTERNAMIENTO.**

La unidad principal en el diseño del Establecimiento Penitenciario corresponde al de reclusión (Internamiento), y que de acuerdo con sus características han sido distribuidos en cinco (5) bloques o Pabellones de la siguiente manera:

02 PABELLONES DE MEDIANA Y MINIMA SEGURIDAD (HOMBRES), con capacidad para 256 internos.

02 PABELLONES DE MAXIMA SEGURIDAD (HOMBRES), con capacidad total para 256 internos.

01 PABELLON DE MAXIMA Y MINIMA SEGURIDAD (MUJERES), con capacidad para 64 internas.

La ubicación de los bloques de internamiento dentro del terreno es la más idónea, ya que garantiza la seguridad y control de los internos.

Todas las circulaciones horizontales y verticales dentro de los pabellones son libres y fluidas y permiten un eficiente servicio para el desplazamiento y vigilancia.

La ubicación y distribución de celdas están diseñadas de tal manera que no existe comunicación física ni visual entre los internos.

Los patios o áreas libres se encuentran en la primera planta de cada pabellón y son utilizados como zonas de recreación y trabajo, cada patio cuenta con servicios higiénicos.

Con la finalidad de que el interno no tenga contacto con las redes de agua, desagüe, electricidad, cada pabellón cuenta con un ducto sanitario, el cual permite un fácil servicio de mantenimiento.

Todos los pabellones tienen ambientes para tópico, oficio, talleres, control y vigilancia, así mismo se ha logrado optimizar las zonas de vigilancia hacia las celdas y patios.

b) ZONA ADMINISTRATIVA Y SERVICIOS COMPLEMENTARIOS.

Las áreas que comprenden ésta zona se encuentran separadas del área de internamiento mediante una zona de control, el cual no permite la salida de los internos hacia la Zona de Administración, salvo a aquellos que realizan labores de trabajos.

** CONTROL Y ADMISION. El diseño de esta área da al ingreso del Establecimiento Penitenciario, las circulaciones peatonales son fluidas y secuenciales que permiten el control y revisión de los visitantes.*

Adyacente a ésta área se tiene un Ingreso vehicular con los requerimientos necesarios para el control y revisión previo al ingreso al penal.

** SEGURIDAD EXTERIOR. La seguridad exterior del penal esta a cargo de la PNP, es por esta razón que se encuentra ubicada fuera del*

Establecimiento Penitenciario, adyacente a la zona de ingreso y espera de visitas. Cuenta con establecimiento vehicular propio.

** SALA JUDICIAL. Con la finalidad de evitar el traslado de los internos comunes y por terrorismo, hacía el Palacio de Justicia en diferentes horarios, así como brindar la protección necesaria a los Jueces, el Programa Arquitectónico ha contemplado la construcción de la Sala de Juzgamiento.*

** ADMINISTRACION INPE. Dada la relación directa que existe con el Interno, se ubica ésta área cercana a la Admisión y en la zona central, al hacer su ingreso el inculcado al Establecimiento Penitenciario es destinado provisionalmente en las celdas ubicadas en este inmueble hasta ser evaluado para su internamiento.*

Dentro de esta área se ubica las oficinas y el destacamento personal del INPE a cargo de la custodia de los internos; cuenta con area de estacionamiento para el Personal Administrativo.

** VISITAS INTIMAS. Su ubicación estratégica está determinada por el tipo de circulaciones hacia este inmueble desde la zona de internamiento (Pabellones de Reclusión) y Admisión.*

Cuenta con un Patio Exterior, Estar de Visitas con SS. HH. y Auditorio. Asimismo se ha considerado una área para realizar misas.

Control, Espera y Oficio de Internos.

Control, Espera y Oficio de Visitas.

14 Habitaciones con baño.

** CENTRO DE SALUD. Este establecimiento corresponde al primer nivel de Atención Médica, en el cuál se desarrollarán actividades de atención integral de salud de baja complejidad, con énfasis en el aspecto preventivo.*

** GUARDERIA INFANTIL, ésta área está destinada al cuidado y enseñanza de los hijos de las internas, motivo por el cuál se ubica cercano al pabellón de mujeres.*

La Guardería Infantil cuenta con los siguientes ambientes:

Dirección

Aula

Dormitorio y cunero recién nacidos

Servicios Higiénicos

Cocina

Patio de Servicio

Patio Exterior

Area de Juegos Infantiles.

** COCINA. El diseño de ésta área se basó en la integración con la Zona de Internamiento y con el área de ingreso por el aprovisionamiento de insumos para la Cocina, Lavandería y el Area de Mantenimiento.*

La Cocina comprende los siguientes ambientes:

Almacén

Depósito

Cámaras Frigoríficas

Oficina

Cocina:

Area de Preparación

Area de Cocimiento

Area de Lavado y secado

Area de Servicio

Servicios Higiénicos

Comedor

** LAVANDERIA Y SERVICIOS COMPLEMENTARIOS. Comprende los siguientes ambientes:*

Area de Lavado

Area de Secado

Area de Planchado y Costura

Depósito Ropa Limpia

Patio Tendal.

Además, se cuenta con un Patio de Maniobras, Taller mantenimiento, Almacén General, Sub Estación Eléctrica, Casa de Fuerza, Cuarto de Bomba y Tanque Elevado.

RESUMEN GENERAL DEL PROGRAMA ARQUITECTONICO DE AREAS

<i>Control e Ingreso</i>	210.00	
<i>Espera Visitas</i>	302.50	
<i>Sala de Juzgamiento</i>	414.00	
<i>Policía Nacional</i>	618.75	
<i>Torreones de Vigilancia</i>	40.00	1585.25 m2.
<i>Administración</i>	136.25	
<i>Inpe</i>	732.50	
<i>Estar Visitas</i>	355.00	
<i>Auditorio</i>	380.00	
<i>Visitas Intimas</i>	468.00	
<i>Centro de Salud</i>	713.75	
<i>Cocina Lavandería</i>	505.80	
<i>Servicios Generales</i>	206.40	
<i>Guardería</i>	236.25	3733.95 m2.
<i>Control Central</i>	204.00	
<i>Pabellón A Máxima Seguridad</i>	1981.00	
<i>Pabellón B Máxima Seguridad</i>	1981.00	
<i>Pabellón C Mediana y Mínima Seguridad</i>	2028.00	
<i>Pabellón D Mediana y Mínima Seguridad</i>	2028.00	
<i>Pabellón Máxima y Mínima Seguridad Mujeres</i>	1726.80	9948.80 m2.
Area Total del Programa Arquitectónico		15268.00 m2.

5.1.3 TRATAMIENTO ARQUITECTONICO.

El programa está compuesto por edificaciones que responden necesariamente a requerimientos funcionales diferentes, por lo cual ha existido especial preocupación por proponer un tratamiento homogéneo para la composición de vanos, texturas, volumetrías con preponderancia ortogonal.

Esto dará como resultado un complejo que represente la importancia de los objetivos a cumplir y con ello proponer una identidad institucional en la memoria colectiva.

5.1.4 ORIENTACION.

Toda la apertura de vanos en las zonas de internamiento, zona intermedia y administración están orientadas hacia el eje Norte-Sur evitando la orientación hacia el Oeste.

5.1.5 SOLUCION ESTRUCTURAL.

La zona de administración y de servicios se presenta sobre la base de sistemas de muros portantes, pórticos o mixtos; en la mayoría de los casos con un énfasis en la economía y el buen comportamiento sísmico, no pasando de 5 a 6 metros de luz para evitar un mayor peralte de las losas aligeradas, lográndose una lectura clara y modulada.

En las zonas de internamiento se usaran placas armadas de concreto para así mejorar la seguridad.

5.1.6 SEGURIDAD.

Se propone un cerco perimetrico con torres ubicadas en puntos estratégicos e intersecciones. Se evitan espacios ciegos que impidan el mejor control hacia el interior.

5.2 RESUMEN DEL ESTUDIO DE SUELOS.

Los análisis químicos de suelos y aguas subterráneas son necesarios para calcular la posibilidad de deterioro del acero enterrado y cimentaciones de concreto. En el caso de estructuras de acero como los pilotes laminados permanentes o pilotes de carga de acero estas son por lo general suficientes para determinar el PH, el contenido de cloruro del suelo y de las aguas subterráneas. Para estructuras de concreto se requieren normalmente el contenido de sulfatos y el valor del PH. Pero a pesar de que este constituye una medida del grado de acidez del suelo o las aguas subterráneas, no se puede usar directamente para determinar la naturaleza o la cantidad de ácido o lo alcalino del material presente; es solo un índice útil para considerar si se requiere información adicional y decidir que precauciones tomar para proteger las estructuras de concreto enterradas. Por ejemplo, un PH bajo indica condiciones ácidas, que pueden ser producto de las reacciones naturales en el suelo, o debido a la presencia de desechos industriales vertidos en el terreno. En este último caso será necesario realizar análisis químicos detallados y determinar la naturaleza de las sustancias presentes y calcular su acción potencial agresiva en el concreto.

TABLA I.7 ELEMENTOS QUIMICOS NOCIVOS PARA LA CIMENTACION⁽¹¹⁾

Presencia en el suelo de:	p.p.m.	Grado de alteración	Observaciones
* Sulfatos	0 - 1000 1000 - 2000 2000 - 20,000 > 20,000	Leve Moderado Severo Muy severo	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
** Cloruros	> 6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras de elementos metálicos.
** Sales Solubles Totales	> 15,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación.

* Comité 318-83 ACI

** Experiencia Existente

5.2.1 PRIMER ESTUDIO DE SUELOS. (Mayo de 1996)

El perfil estratigráfico del subsuelo es sensiblemente homogéneo y esta constituido por una capa superior de arena gruesa con material fino, predominantemente limos con cantidad variable según la ubicación, y grava fina o gravilla, cuyo espesor varía en las calicatas excavadas entre 10 y 20 cm. A continuación, se encontró una capa variable de grava arenosa, con menor cantidad de material fino, densa y de tamaño máximo que varía de 4" a 6". En algunas calicatas se encontró un estrato que comenzaba entre los 2.50 a 3.00 m. de profundidad y que se extendía hasta el final de la excavación, de material granular de densidad mas baja con una grava un poco mas fina llegando en algunos casos a ser una grava arenosa. No se encontró nivel freatico.

Teniendo en cuenta las características físicas y mecánicas que presenta el perfil estratigráfico del subsuelo y el tipo de la estructura a construir, se recomendó a cimentar las estructuras en el depósito de grava arenosa, el cual se encontró casi superficialmente.

En base a la experiencia obtenida en estos tipos de suelos de parte del Ingeniero Consultor, debe tomarse como profundidad mínima de cimentación 1 m. de la superficie del terreno, para asegurar un buen confinamiento de las zapatas. Para el caso particular del cerco perimetral, se recomienda adoptar una profundidad mínima de cimentación de 0.60 m con respecto a la superficie del terreno.

Teniendo en cuenta las características de los suelos que se encontraran dentro de la profundidad activa de la cimentación, se recomendó cimentar sobre el estrato de grava arenosa con una presión admisible de 4 Kg. /cm².

Esta presión se encuentra controlada por asentamientos y corresponde a un asentamiento de 2.5 cm, que es el máximo tolerable para estructuras convencionales.

⁽¹¹⁾ Tabla proporcionado por Ing. Denys Parra Murrugara y Dr. Zenón Aguilar Bardales. CISMID

En el Informe ES 9614 en la pagina 5 de la parte 5.0.0 Perfil del Suelo, dice: "Durante la excavación no se ha encontrado ningún vestigio de sulfatos ni de otras sales solubles, por lo que no se requiere ensayos de laboratorio para determinación de su contenido."

Además en la pagina 2 de la parte 1.2.0 Limitaciones, dice: "Sin embargo, por la naturaleza misma de los suelos encontrados, en los que siendo necesario generalizar la información obtenida en algunos sondeos a todo el área del proyecto, no siempre es posible tener seguridad total acerca de la generalización efectuada. Por lo tanto se recomienda, que en el caso poco probable que durante la construcción se observasen suelos con características diferentes a las indicadas en este informe, se notifique de inmediato al Projectista para efectuar las correcciones necesarias."

Es por eso que durante el proceso de construcción, al ver características de presencia de sales se realiza un Segundo Estudio de Suelos con otro especialista. De tal modo se obtiene los resultados de Estudio de Suelos de ambos consultores; es necesario hacer hincapié que en este informe solo se esta analizando respecto al ataque agresivo de los suelos al concreto

CONCLUSIONES DE LA VERIFICACION DEL PRIMER ESTUDIO DE SUELOS.

Se ha realizado una visita al campo para efectuar una inspección visual y un muestreo de los sondeos donde se ha detectado presencia de sales. Los análisis químicos han sido realizados sobre seis muestras representativas recogidas en forma normalizada y analizado por la Pontificia Universidad Católica.

Las diferencias encontradas (respecto a resultados del segundo especialista de suelos) se deben probablemente a un muestreo incorrecto. Los ensayos químicos se deben hacer sobre la muestra de suelo integral y no solamente sobre la fracción fina del suelo (lo cual conduce a valores excesivos de contenidos de sales).

De nuestros resultados podemos decir que ninguna de las muestras contiene un porcentaje significativo de sustancias agresivas al concreto.

Incluimos una lista de elementos agresivos al concreto extraída del Manual de Concreto de U. S. B. R. (Tabla I.8).

TABLA I.8 ELEMENTOS AGRESIVOS AL CONCRETO

SUSTANCIA	Efecto en el Concreto sin Protección
<i>Aceites petrolíferos, pesados, ligeros y volátiles</i>	<i>Ninguno</i>
<i>Destilados del alquitrán de hulla</i>	<i>Ninguno o muy ligero</i>
<i>Acidos inorgánicos</i>	<i>Desintegración</i>
<i>Acido acético</i>	<i>Desintegración lenta</i>
<i>Acidos oxálico y carbónico seco</i>	<i>Ninguno</i>
<i>Acido carbónico en agua</i>	<i>Ataque lento</i>
<i>Acidos láctico y tánico</i>	<i>Hacen</i>
<i>Aceites vegetales</i>	<i>Ataque ligero o muy ligero</i>
<i>Sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio y hierro</i>	<i>Ataque activo</i>
<i>Cloruros de sodio y potasio</i>	<i>Ninguno</i>
<i>Cloruros de magnesio y calcio</i>	<i>Ataque ligero</i>

Del cuadro anterior se deduce que solamente los sulfatos podrían producir ataque importante al concreto. Sin embargo no debe perderse de vista que al no haber napa freática, no habría mayores posibilidades de reacción y ataque de eventuales sulfatos con el concreto. Razón por la cual no se considera esta posibilidad.

Observado los resultados del laboratorio químico de la Pontificia Universidad Católica de las seis muestras remitidas, el contenido de sulfatos no supera el mínimo necesario recomendado por el manual de concreto de USBR para utilizar cemento tipo II. Por lo tanto debe usarse solamente cemento tipo I, mas aun tomando en cuenta que no hay napa freática que promueva la reacción.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS - SECCION QUIMICA
SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO INDUSTRIALES

INFORME

Los resultados de los análisis de: Sulfatos solubles.
en 06 muestras de suelo (Proy. INPE - CAÑETE)

Solicitado por: MICHELENA REPETTO + ASOCIADOS

en fecha: 13.05.97

C O N T E N I D O

SUSTANCIA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Sulfatos Solubles (SO ₄ ²⁻)	220 ppm	660 ppm	75 ppm	550 ppm	880 ppm	235 ppm

- 01: BT Prof. 3.50
- 02: CC-1 Prof. Superficie
- 03: Calic-1 Prof. 1.00 - 3.00
- 04: C-3 Prof. 1.00 - 3.00
- 05: Calic-5 Prof. 0.50 - 2.20
- 06: CC-2 Prof. 0.40 - 1.00

Lima, 13 de mayo de 1997

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Departamento de Ciencias - Sección Química
Servicio de Análisis Químicos

ING. ROMULO DCHOA LUNA
Coordinador



Pontificia Universidad Católica del Perú
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS - SECCION QUIMICA
SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO INDUSTRIALES

INFORME

Los resultados de los análisis de: Sales solubles totales
en: 06 muestras de suelo (Proy. INPE - CAÑETE)

Solicitado por: MICHELENA REPETTO + ASOCIADOS

en fecha: 14.05.97

C O N T E N I D O

SUSTANCIA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Sales solubles	2 265 ppm	110 852 ppm	2 530 ppm	4 260 ppm	2 925 ppm	1 820 ppm

- 01: BT Prof. 3.50
- 02: CC-1 Prof. Superficie
- 03: Calic-1 Prof. 1.00 - 3.00
- 04: C-3 Prof. 1.00 - 3.00
- 05: Calic-5 Prof. 0.50 - 2.20
- 06: CC-2 Prof. 0.40 - 1.00

Lima, 15 de mayo de 1997

Al no registrar las muestras ningún espécimen con el contenido de sulfatos igual o mayor a 1000 p.p.m. de sulfato, no se considera agresivo el suelo al concreto.

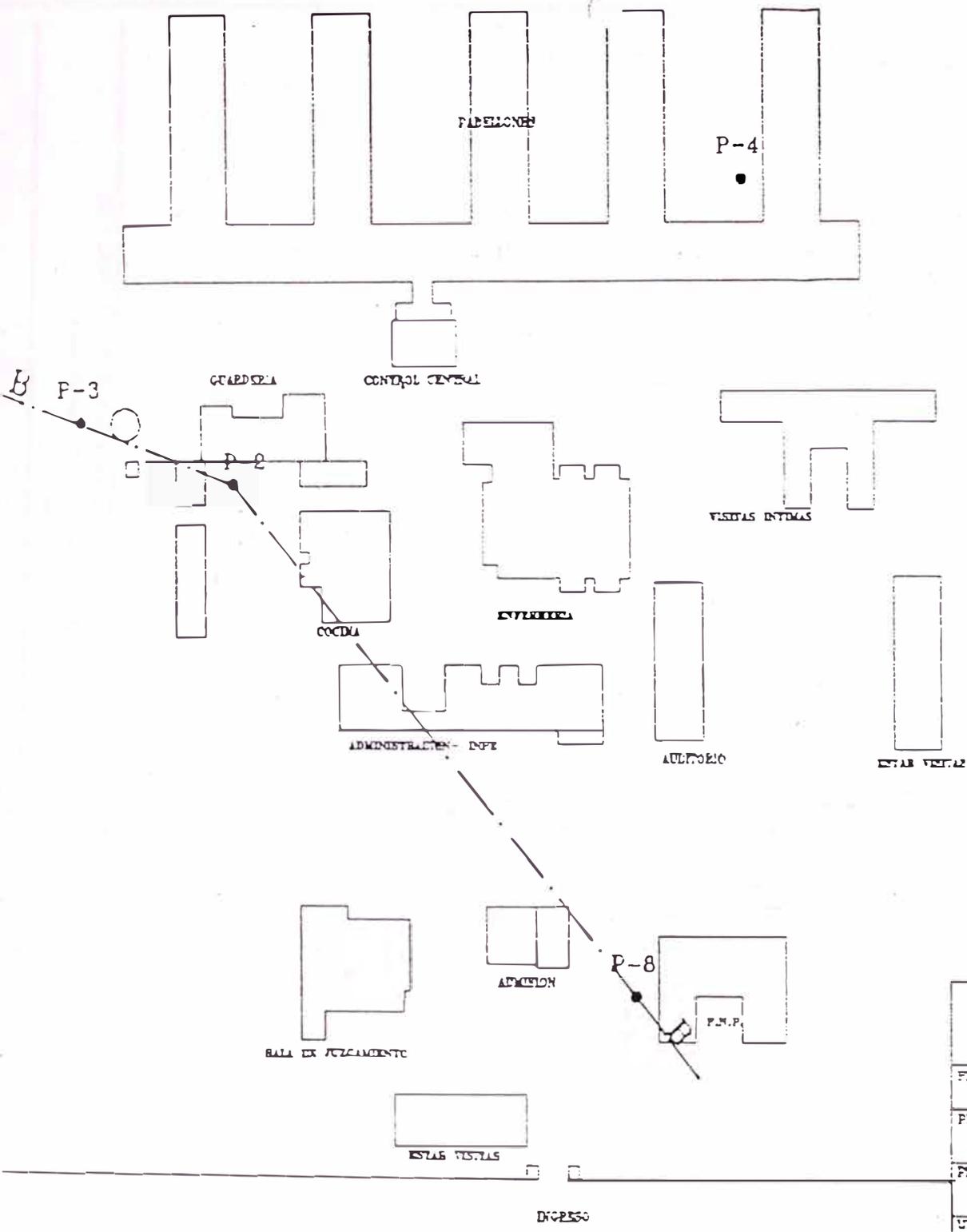
Los resultados de los ensayos de cloruros solo tienen importancia para el acero expuesto al oxígeno. Al estar el acero recubierto por concreto y al no haber napa freática que por capilaridad ascienda, tiene poca importancia estos cloruros.

5.2.2 SEGUNDO ESTUDIO DE SUELOS (Mayo de 1997)

Se ha extraído 3 muestras de las calicatas P-1, P-8 y del sector de la Sala de Juzgamiento, para el análisis químico del contenido de sales agresivas al concreto; obteniéndose los resultados que se muestran en el siguiente cuadro:

<i>MUESTRA N°</i>	<i>S.S.T. ppm</i>	<i>SULFATOS SO₄ ppm</i>	<i>CLORUROS Cl ppm</i>
<i>P-1</i>	<i>40,230.00</i>	<i>2,800.00</i>	<i>15,247.80</i>
<i>P-8</i>	<i>28,830.00</i>	<i>1,580.00</i>	<i>10,779.84</i>
<i>Sala de Juzgamiento</i>	<i>54,800.00</i>	<i>4,600.00</i>	<i>24,112.80</i>

En cuanto a la Descripción del Perfil Estratigráfico, el subsuelo del área en estudio está conformado en general por un material coluvio aluvional, de distribución muy heterogénea, con presencia de estratos gravosos arenosos limosos y arenas gravosas limosas, con clastos andesíticos angulosos, de hasta 9"-10" en forma aislada, con partículas mayores de 3" en un 10-25%, no plástica, seca, color beige, en estado semicompacto a compacto. Observándose hacia el sector donde se proyecta la construcción de la Sala de Juzgamiento, P.N.P., Sala de Espera y Visitas, un estrato Brechoide superficial



LEYENDA:

- POZO O CALICATA

~~CESAR AUGUSTO ATALA ABAD~~
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. Reg. 60.1070

INSTITUTO NACIONAL PENITENCIARIO NUEVA E.P. CONO SUR			
PROYECTO :		ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION	
PLANO :		UBICACION DE CALICATAS	LAMINA :
PROFESIONAL :		ING. CESAR ATALA ABAD	MS-01
UBICACION :		ESCALA : 1/1000	COMPAÑIA :
DISEÑADOR : FRANCISCO D. PALMA		FECHA :	DIBUJO : MUNES JUAN CESAR BANGHEE PAZ



LABORATORIOS "LASA" INGENIEROS

ANÁLISIS DE SUELOS.

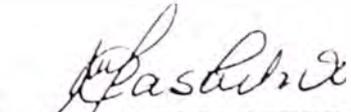
PROCEDENTE DE : PROYECTO NUEVO ESTABLECIMIENTO
PENAL DEL CONO SUR.
CANETE

INFORMADO A : ING. CESAR ATALA A.

FECHA : 05 de Mayo de 1997

	pH	Cl ppm	SO4 ppm	S.S.T ppm
P-8 Prof. 1.40-2.60m		10,779.84	1,580.00	28,830.00
P-1 Prof. 0.00-1.40m		15,247.80	2,800.00	40,230.00

INFORMADO POR:



CESAR A. PASACHE ANGULO
INGENIERO AGRONOMO
Reg. del Colegio de Ingenieros No. 9184

ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS : asesoría - consulta - supervisión

Calle Bolívar N° 277 - Urb. La Florida - Pinar del Río

Teléfono: 482-7829



LABORATORIOS "LASA" INGENIEROS

ANÁLISIS DE SUELOS.

PROCEDENTE DE : PROYECTO NUEVA ESPERANZA CONO
SUR-IMPERIAL
CANETE

INFORMADO A : ING. CESAR ATALA.

FECHA : 28 de Abril de 1997

	pH	Cl ppm	SO4 ppm	S.S.T ppm
Area de sala de Jugamiento		24,112.80	4,600.00	54,800.00

INFORMADO POR:

MIGUEL B. O. PASACHE ANGOLO
INGENIERO AGRONOMO
Ing. del Colegio de Ingenieros No. 918

ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS : asesoría - consulta - supervisión

Calle Bolívar N° 277 - Urb. La Florida - Huanuco - Lima

Teléfono: 482-7829

con alta concentración de sales con un espesor que varía entre 0.70 - 1.20 m., medianamente endurecido.

CONCLUSIONES DEL SEGUNDO ESTUDIO DE SUELOS.

Con respecto a los contenidos de sales presentes en el área en estudio, se concluye que:

Se empleará cemento Portland Tipo V en todos los elementos de concreto en contacto con el suelo: cimientos corridos, zapatas, tanques sépticos, cisterna y otros.

Las superficies exteriores de todos los elementos de concreto armado enterrados, deberán ser debidamente impermeabilizados por medio de pinturas asfálticas a fin de impedir la corrosión del acero de refuerzo debido al ingreso de las sales de cloruro.

5.3 INCIDENCIAS EN LA EJECUCION DE LAS CIMENTACIONES DE LA OBRA.

Del primer informe del Estudio de Suelo realizado durante el proyecto (29 de Mayo 96), se determina trabajar con cemento Portland Tipo I, ya que no se había encontrado ningún vestigio de sulfatos ni de otras sales solubles.

Durante el proceso de construcción en la etapa de excavación de zanjas para los cimientos es donde se observa la presencia de sales, específicamente en la zona de Sala de Juzgamiento, es bajo esta circunstancia que se decide hacer un segundo Estudio de Suelos (7 de Mayo 1997) con otro especialista. Luego de este estudio se concluye que se emplee cemento Portland tipo V en la construcción de los cimientos y además de recubrir con pintura asfáltica las superficies en contacto con el suelo a los elementos de concreto armado enterrados.

Este resultado se pone en conocimiento al INPE y al Consultor del primer estudio de Suelo (proyecto) que luego de verificar y hacer ensayo de contenido de sales y sulfatos emite un Informe el 15 de Mayo de 1997 donde concluye que "En relación con el asunto de las sales agresivas al concreto, este aspecto no se tocó en nuestro informe debido a que el estudio de suelos había evidenciado que no había napa freática y que por lo tanto, de haber sulfatos, éstos no podrían reaccionar con el concreto". "Por lo tanto debe usarse solamente cemento tipo I, más aun tomando en cuenta que no hay napa freática que promueva la reacción."

Con fecha 23 de Junio de 1997 mediante Carta 231-97/9614, se ratifica en su estudio mediante carta al INPE en usar cemento tipo I e indica:

1. *"El contratista colocará en los cimientos, antes de su vaceado, una manta de plástico PVC con un traslape mínimo de 50 cm a fin de evitar el contacto directo entre el terreno y el cimiento de concreto y así impedir que cualquier humedad que se produzca en el terreno ascienda por capilaridad por los cimientos hasta la pared, llevando consigo las sales existentes en el suelo, la cual si bien no hacen daño a la construcción puede afear las paredes con sus eflorescencias y promover la pérdida de la pintura. La manta deberá cubrir todo el cimiento y sobrecimiento en contacto con el terreno.*

2. *A fin de asegurar decididamente que no se presenten eflorescencias, nuestra sugerencia es de colocar alrededor de las obras, donde no haya sido previsto en el diseño, una vereda de 1.20 m de ancho con la finalidad de impedir que existan jardines demasiado cercanos a las paredes.*

Cumplido lo anterior por el contratista de la obra, nos ratificamos en los informes emitidos en el sentido de que las sales y sulfatos no afectarán la obra."

Posteriormente con fecha 27 de Junio de 1997, el Consultor del proyecto mediante Carta 246-97/9614 al INPE dice: "tenemos a bien informarles que en relación con el punto 1.- de la página #2 de dicha carta (231-97/9614), la manta

de PVC debe colocarse preferentemente en la cisterna, el tanque elevado, las cocinas y los baños en los cuales sea aún posible colocarlas".

Con las verificaciones realizadas de parte del Consultor del proyecto y las conclusiones y recomendaciones emanadas de este estudio se continuo el vaceado de las cimentaciones con cemento tipo I. Utilizándose cemento Tipo V en las cimentaciones de la zona de Sala de Juzgamiento y colocando manta de PVC en la cisterna y el tanque elevado, esta manta llamado en el mercado plástico transparente cristal # 16 que vienen en rollos de ancho de 1.50 m y largo de 50.00 m, y que a la fecha del mes de Febrero del 2001 su costo era de S/. 8.30 (1\$=S/ 3.52) el ml incluido el I.G.V.; construyéndose además veredas en todos los perímetros de las edificaciones donde iba estar rodeado de jardines.

Es necesario indicar que la ubicación del Penal de Cañete se encuentra en el Distrito de Nuevo Imperial, Provincia de Cañete y Departamento de Lima, considerado como una Zona desértica semicalida, con deficiencias de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como humedad relativa que varía entre 70 al 95%.

SENAMHI

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA

ESTACION : CAÑETE /CO-616/DRE-04

PARAMETRO : HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

LAT. : 13° 04' "S"
LONG. : 76° 20' "W"
ALT. : 150 msnm.

DPTO. : LIMA
PROV. : CAÑETE
DIST. : NVO. IMPERIAL

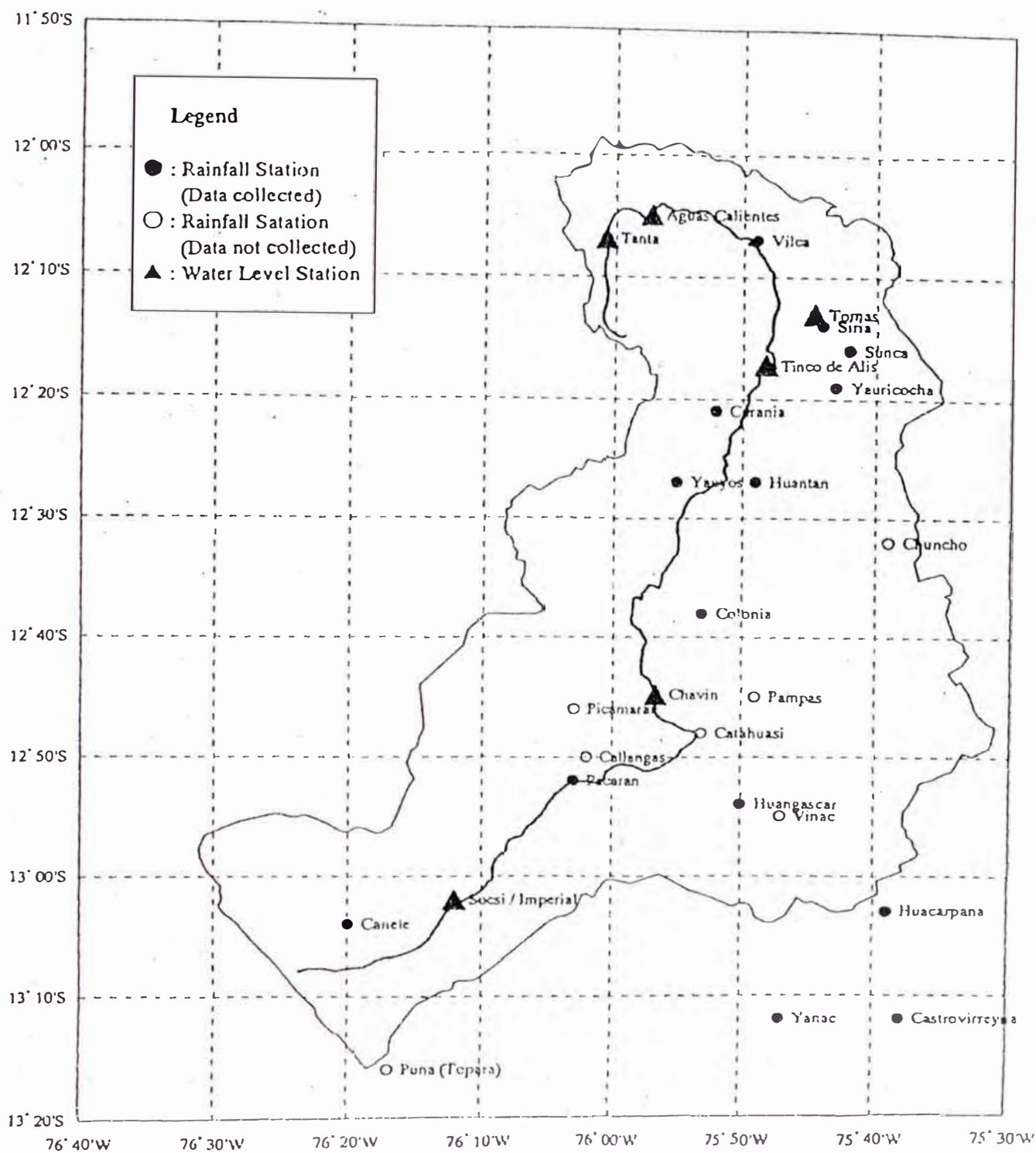
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1997	82	81	84	88	86	82	83	85	86	84	83	79

S/D = Sin Dato.

SLUMP-LEY N° 23560

INFORMACION PREPARADA PARA VICTOR VERANO PORTA
LIMA, 19 DE ABRIL DEL 2001

Location of Hydrological Station



VISTAS FOTOGRAFICAS DE IMPERMEABILIZACION DE UNA CIMENTACION.

UBICACIÓN.-

La obra esta ubicado frente al NE de la Plaza de Armas de la ciudad de Chachapoyas, Provincia del mismo nombre, Departamento de Amazonas.

ANTECEDENTES.-

El Hospital I de Chachapoyas diseñado por el Arq. Enrique Bonilla Di Tolla, contempla un sótano a nivel -5.25m, semisótano a nivel -2.00m, primer piso a nivel +1.25m, segundo piso a nivel +4.50m y el tercer piso a +7.75m, con un área total de construcción de 3033.27 m². El Estudio de Suelos fue realizado por Geotecnia & Pavimentos E.I.R.L. y señalaba que el nivel de la napa freática se encontraba a -3.30m en la fecha del estudio.

La edificación fue estructurada en forma mixta con pórticos de concreto armado y muros portantes de albañilería y la cimentación a base de zapatas aisladas conectadas parcialmente por vigas de cimentación.

MODIFICACION DEL PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION.-

Teniendo en cuenta que el nivel de la napa freática es variable por el ciclo de lluvias estacionales, la existencia de arcillas orgánicas de alta plasticidad y de antecedentes de otras obras ejecutadas en la ciudad de Chachapoyas, la Supervisión consideró conveniente modificar los planos de cimentación del Proyecto, que contempla una platea y vigas de cimentación.

Se confirmó la resistencia del terreno de 0.49 Kg/cm². Asimismo, se determinó que se trata de suelos altamente plásticos, moldeables, con límites líquidos en algunas muestras que alcanzan el 88.80% y límites plásticos de hasta el 55.80%, que fundamenta su apreciación de tratarse de suelos expansivos, que debe tenerse en consideración para la cimentación y recomendando la necesidad de adoptar una solución de tipo losa de cimentación (platea de cimentación), formando un conjunto monolítico, a fin de absorber los asentamientos del tipo diferencial.

ESPECIFICACIONES TECNICAS.-

Para la ejecución de la Modificación del Proyecto de Estructuras de la Cimentación del Hospital I de Chachapoyas, se recomienda seguir las siguientes especificaciones técnicas:

Concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Las cimentaciones bajo el nivel -2.00m del proyecto se harán con cemento tipo V, es decir la losa, vigas de cimentación y los muros reforzados del sótano, cisterna, cámara de bombeo de desagüe, ascensores, montacarga y cámara del tanque de petróleo; así como la losa y vigas de cimentación y las zapatas de muros y columnas del semisótano.

Los muros de concreto reforzado sobre el nivel -2.00m se efectuarán con cemento tipo I.

Se recomienda el uso de Waterstop de 6" en toda interrupción del vaciado de las losas armadas, a fin de garantizar la estanqueidad esta misma recomendación a la construcción de la cisterna, cámara de bombeo de desagüe, fondo de ascensores y montacarga.

Previo a la colocación de la losa de cimentación, se recomienda hacer un tratamiento al terreno de fundación con los siguientes materiales:

Compactación del terreno natural

El terreno natural sobreexcavado para recibir el relleno granular debe ser compactado y apisonado en forma manual colocándole, previamente una capa de piedra mediana y grande hasta estabilizarlo.

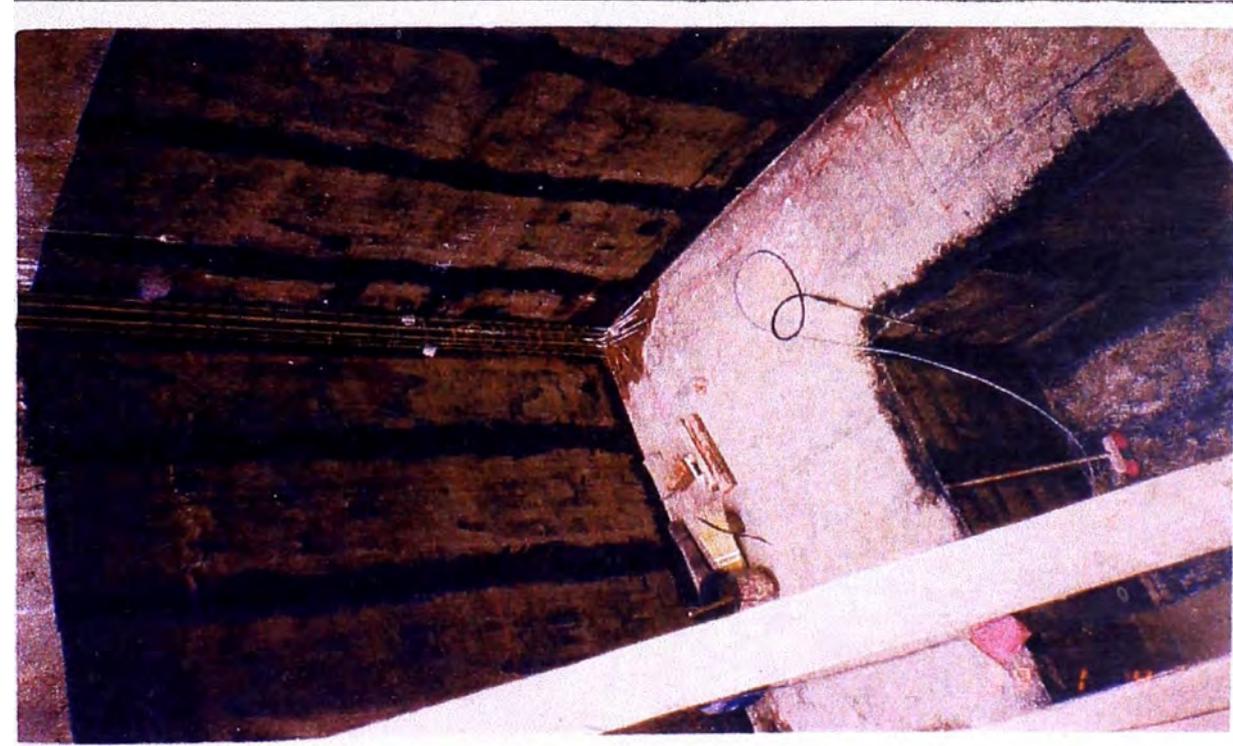
Material granular seleccionado de préstamo

El material granular seleccionado será colocado en toda el área de la losa de cimentación en capa de 30 cm de espesor debiendo tener una gradación homogénea y seleccionada, con la aprobación respectiva de la Supervisión de Obra.

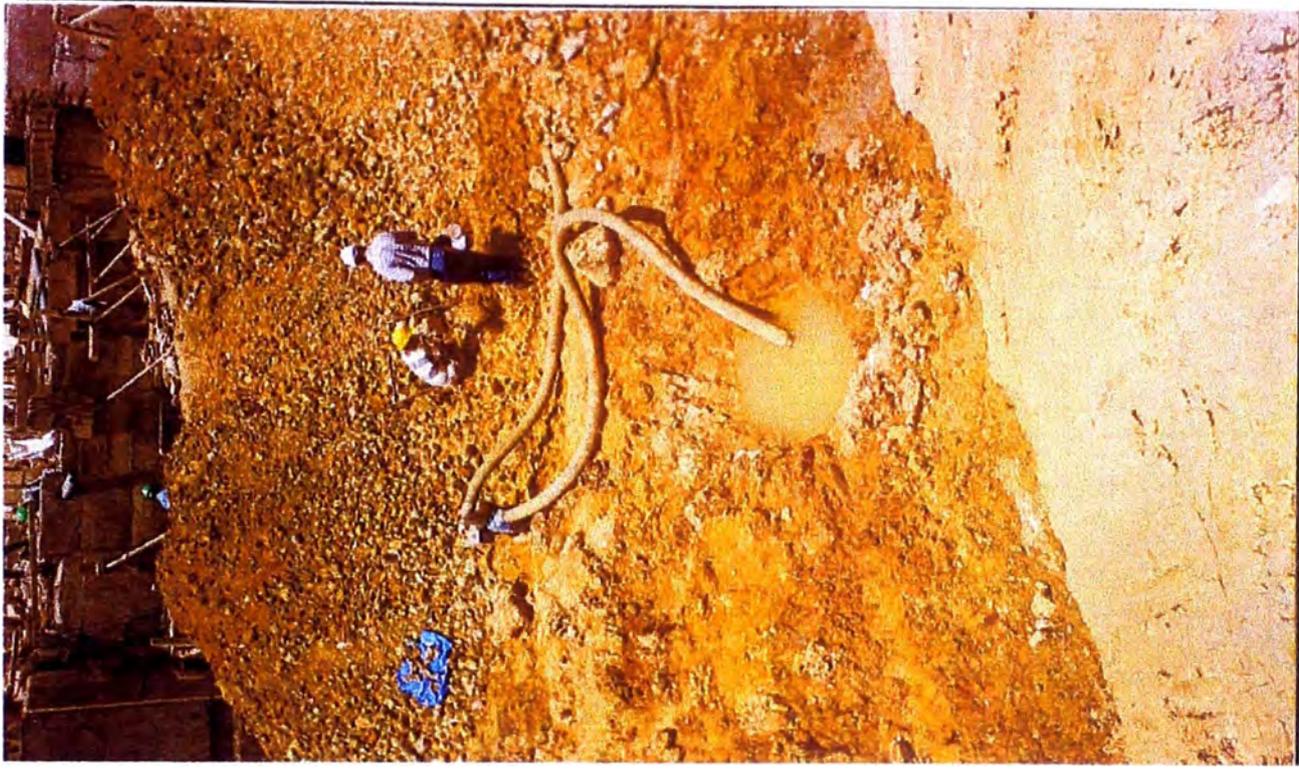
Membrana Impermeabilizante

La membrana impermeabilizante a utilizarse será una manta asfáltica de 3mm de espesor, estructurado con filamentos continuos de poliéster no tejidos.

La manta asfáltica se colocará bajo todo elemento estructural de cimentación que esté por debajo del nivel -2.00m, es decir bajo las losas y vigas de cimentación, zapatas de muros y columnas, al costado de los muros reforzados del sótano y cubriendo externamente todas las estructuras más profundas como cisternas, ascensores, etc.



MANTA COLOCADO EN CAJA, PISO Y PAREDES



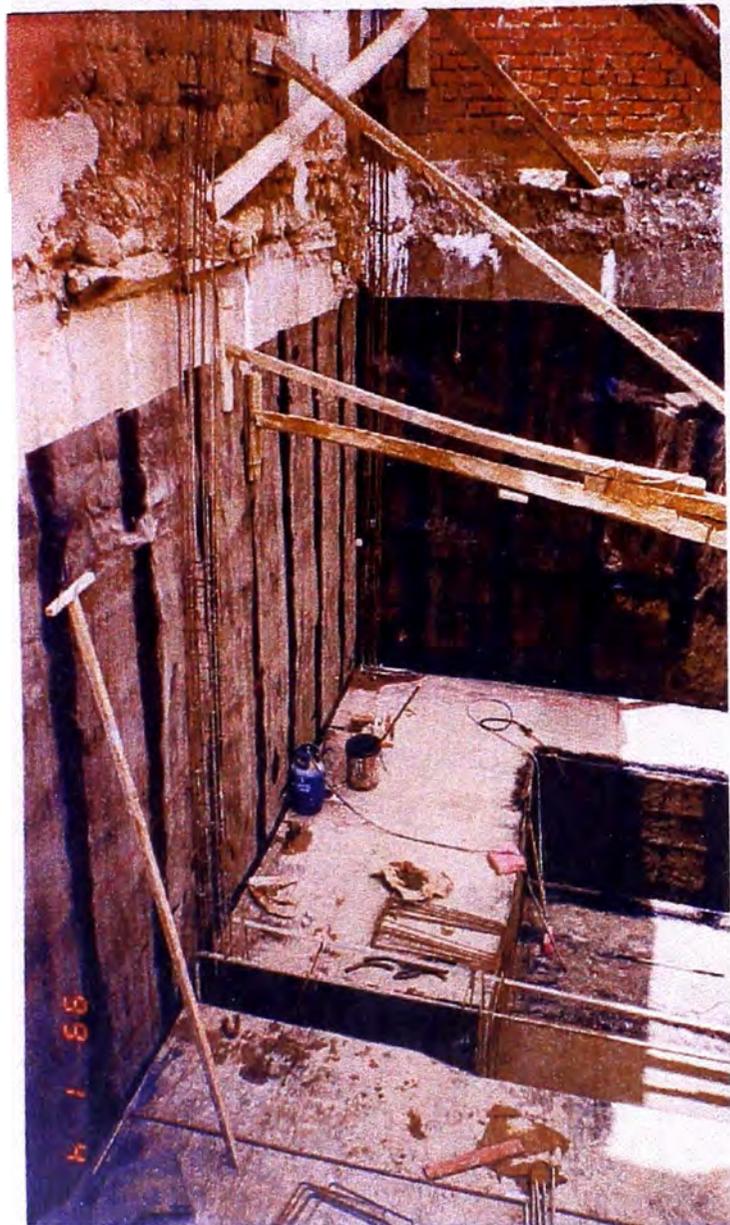
POZA PARA BOMBEAR EL AGUA



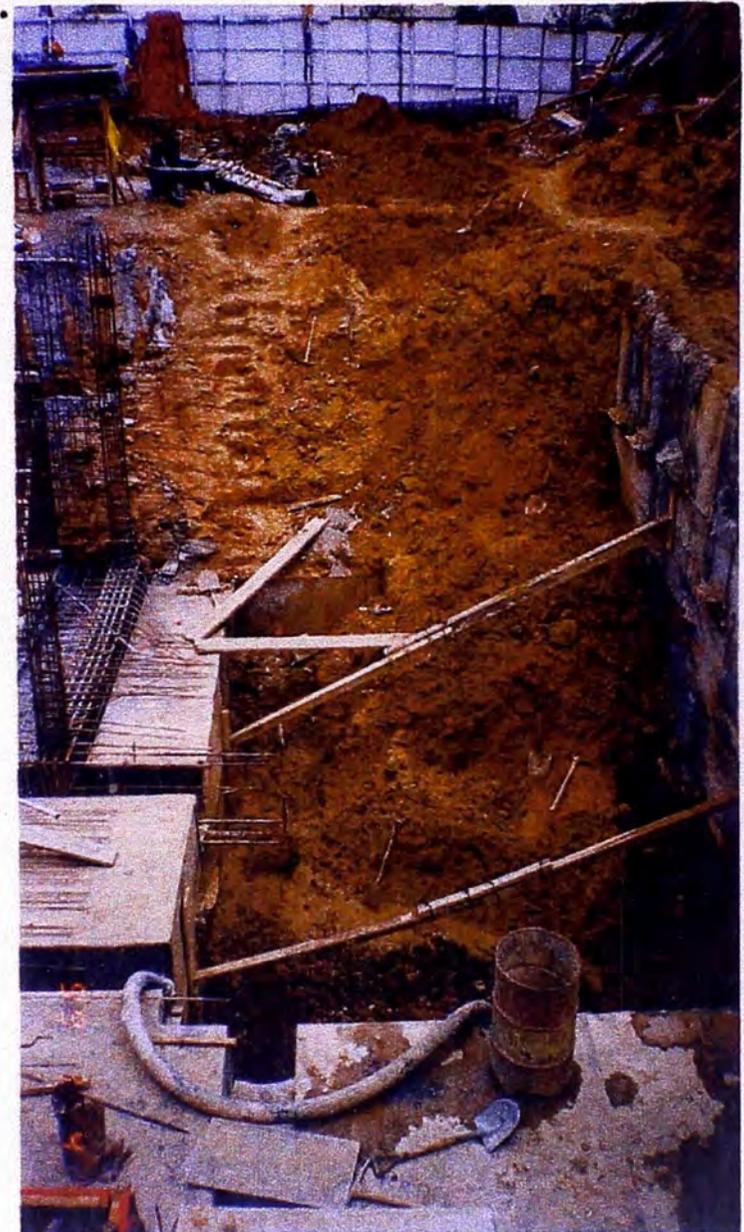
VISTA PANORAMICA DEL SOTANO



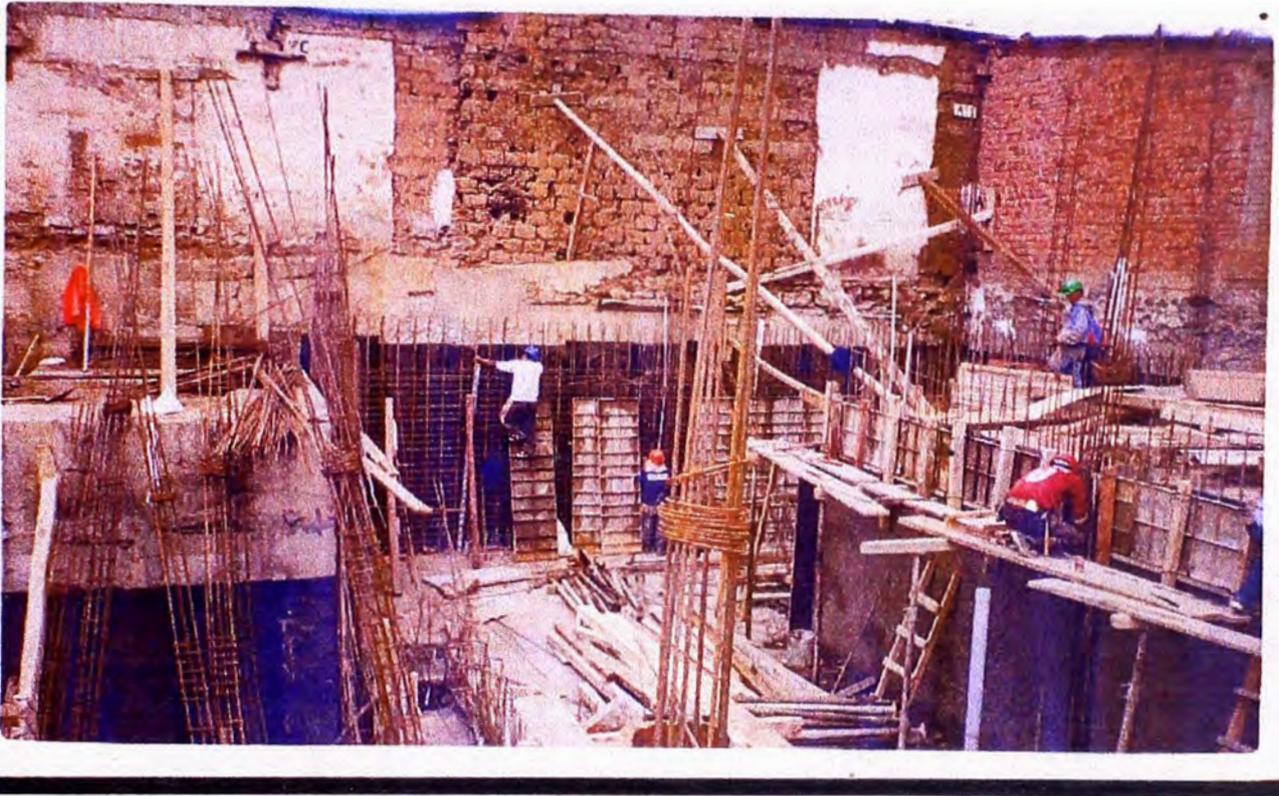
COLOCADO DE LA MANTA TORODIN PARA IMPERMEABILIZAR



TRAZADO E INICIO DE COLOCADO DE ARMADURA



ARMADURA DE VIGAS DE CIMENTACION



COLOCADO DE ARMADURA DEL MURO DE CONCRETO REFORZADO



ENCOFRADO DE MURO DE CONCRETO REFORZADO

CONCLUSIONES

1) *En sólo Estados Unidos, la mitad de los 575.000 puentes de Norteamérica, están afectados por corrosión debido principalmente al uso de sales de deshielo y al menos un 40 por ciento de estos han sido considerados como deficientes a nivel estructural. Los costos de reparación estimados ascienden a 50 billones de dólares y esta cifra crece continuamente.*

En Iberoamérica no se dispone de información económica. Los resultados de la evaluación técnica muestra que los daños por corrosión de las armaduras se encuentran dentro de las estructuras del concreto. La calidad de la duración de las reparaciones de estructuras de concreto armado dependen de la correcta evaluación y de un acertado diagnóstico del problema basados en adecuados procedimientos de inspección ⁽¹⁾.

En el sur de Brasil, Dal Molin efectuó un minucioso análisis de 1512 casos de diagnóstico con diferentes patologías, mostrando que la incidencia de la corrosión de las armaduras representa el 40% del total de los daños. Otros estudios realizados en Brasil, en numerosos puentes, viaductos y otras estructuras en ambientes marinos e industriales, indicaron que la corrosión de la armadura era la causa principal del deterioro, representando esto entre el 20 y 58% de los casos⁽²⁾.

2) *Es importante resaltar que los costos de recuperación son exponenciales con la magnitud y extensión de los daños y, por tanto, con el tiempo transcurrido, por lo que una inspección adecuada y temprana, especialmente de aquellas estructuras que por sus condiciones de utilización o de exposición ambiental siembran dudas, puede ahorrar mucho dinero. A este respecto, cabe anotar que se ha estimado a través de numerosas experiencias en todo el mundo que un peso (\$1) invertido en el diseño y la selección adecuada de*

⁽¹⁾ www.cifaeci.org.co/boletin/no024.html - 76k

⁽²⁾ *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de corrosión en estructuras de Hormigón Armado. Red Iberoamericana de Durabilidad de la Armadura (DURAR). 1ra Edición 1997. CYTED. Pag. 13*

materiales (parámetros de durabilidad), equivale a ahorrar cinco pesos (\$5) en la recuperación de estructuras, en las cuales hay presencia de los agentes causantes de deterioro pero que no se ha iniciado tal proceso, equivalente también a ahorrar 25 pesos (\$25) en la recuperación de estructuras cuyo proceso de deterioro se ha iniciado pero no se ha extendido y a ahorrar 125 pesos (\$125) en estructuras cuyo deterioro es extensivo y manifiesto. Estas cifras son elocuentes y demuestran la importancia y economía de una evaluación aún en estructuras que no presentan deterioro aparente ⁽³⁾.

3) Dependiendo de las condiciones de exposición, la durabilidad puede requerir el uso de un tipo particular de cemento y de un concreto adecuadamente denso, con compactación total, y una estructura de poros satisfactoria, especialmente tamaño de poros, de la pasta de cemento hidratado. Entonces uno de los factores que engloba lo antes descrito es la relación agua / cemento, pero esto debe ser compatible con una trabajabilidad necesaria para lograr la compactación total. De modo que la relación agua / cemento no debe ser demasiada baja, ya que la compactación total es más importante que una baja relación agua / cemento comparado a un concreto pobremente compactado.

4) El hecho de que existan sulfatos en el suelo no significa necesariamente que atacarán al concreto puesto que si se trata por ejemplo de un clima muy seco donde no hay posibilidad de que entren en solución o esta posibilidad es mínima, es obvio que resulta antitécnico y antieconómico especificar cemento especial cuando se pueden tomar precauciones más baratas y eficientes.

5) Los resultados de los ensayos de Sales Solubles Totales (SST) no tienen mayor importancia para el ataque al concreto, mientras estos ensayos no se comparen con los de sulfatos. Pero si tiene importancia las SST, para la cimentación debido al aparente alta concentración ya que puede ser un indicio de suelo colapsable y al hecho de que su presencia solo se ha verificado en las paredes de los cimientos y no en el fondo. Esta elevada concentración vista de los resultados del segundo estudios de suelos es perjudicial ya que puede

⁽³⁾ ACI Capítulo Peruano N° 30. Octubre 99. Boletín Informativo CONCRETO AL DIA. Pag. 27

haber problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación. Ver Tabla I.7, Pag. 79.

6) *Sin la presencia simultánea en el concreto de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible la corrosión y, sin una cantidad mínima crítica, no es posible que se desarrolle con velocidad apreciable. En su ausencia, sin embargo, lo detiene completamente. Al estar el acero recubierto por un buen concreto y al no haber napa freática que por capilaridad ascienda, tiene poca importancia estos cloruros. Al ubicarse el Penal de Cañete en una zona con humedad relativa calificada como húmeda y estar rodeados las estructuras por jardines cercanos, esto lo hace potencialmente peligrosos al producirse un aniego, ya que esta expuesto a fuentes externas de cloruros.*

7) *Los límites establecidos en la Tabla I.6 deben aplicarse a cloruros aportados por los componentes del concreto y no a los del ambiente que rodea al concreto*

8) *Cuando el concreto está expuesto a fuentes externas de cloruros, la relación agua / cemento y la resistencia especificada a compresión f'_c de la Tabla I.4 son los mínimos requisitos que deben considerarse.*

9) *Sin embargo, con relación a los cloruros y a las sales solubles no agresivas al concreto (al no haber napa freática en el caso del Penal de Cañete), pero que pueden ascender por capilaridad a través del cimiento se debe colocar en los cimientos por medida de prevención antes de su vaciado, una manta de PVC con un traslape mínimo de 0.50 m. a fin de evitar el contacto directo entre el terreno y el cimiento de concreto y lograr impedir que cualquier humedad que se produzca en el terreno ascienda por capilaridad por los cimientos hasta las paredes, llevando consigo las sales existentes en el suelo, la cual sí bien no hacen daño a la construcción pueden afear las paredes con sus eflorescencias y promover la pérdida de la pintura.*

10) *Otra forma de evitar que no se presenten eflorescencias es de colocar alrededor de las obras, donde no haya sido previsto en el diseño una vereda de*

RECOMENDACIONES:

El diseño de una estructura de concreto requiere de una investigación del entorno microclimático en el que va funcionar. La investigación deberá realizarse al comienzo del proyecto.

Se debe unificar criterios y métodos de inspección, ensayo y evaluación, con el fin de utilizar mejores sistemas de intervención, reparación y rehabilitación de las obras de concreto armado deterioradas por fenómenos de corrosión y prevenir la aparición de ésta en obras nuevas.

Formar profesionales en la especialidad de Tecnología del Concreto orientada a la experiencia práctica desde el punto de vista de los ensayos petrográficos por ejemplo, donde tiene suma importancia la experiencia del evaluador que usualmente es un Geólogo o un Ingeniero de Minas para ver la reacción del mineral con relación a su comportamiento con el cemento.

Se debe tener en claro que las obras a Suma Alzada existen los adicionales, siempre y cuando se deban a modificaciones de planos y/o de especificaciones técnicas. Es así que de haberse tomado en cuenta el segundo estudio de suelo ha tenido que modificarse las especificaciones técnicas y cambiarse probablemente la parte estructural en cuanto a las dimensiones o secciones menores para aprovechar mejor la resistencia mayor que tendrían los elementos estructurales, así como también los cimientos y sobrecimientos.

BIBLIOGRAFIA:

Manual de Inspección, Evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de Hormigón Armado

CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Comité Editorial: de La Red Iberoamericana DURAR. 1^{ra} Edición. 1997. Biblioteca Instituto de la Corrosión-PUC.

Manual de Inspección de Obras dañadas por Corrosión de Armaduras

*Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Subprograma: "Corrosión de Armaduras". Editorial CSIC. Madrid
Imprime: ACOR, Artes Gráficas, S.A. 1989.*

Apuntes de Clase: Tópicos Especiales en Construcción

Curso de Titulación Profesional por la modalidad de Actualización de Conocimientos de la Facultad de Ingeniería Civil. UNI 2000.

Corrosión en Estructuras de Concreto

American Concrete Institute. Capítulo Peruano. Dic 1991.

Estudio de la Corrosión del Cemento por Ataques de Sulfatos y Agua de Mar

*TP 3835 FIC UNI
Alviz Palomino, Wilbert*

Corrosión del Cemento por ataques de sulfatos

*TP 3166 FIC UNI.
Diaz Lazo, Jose*

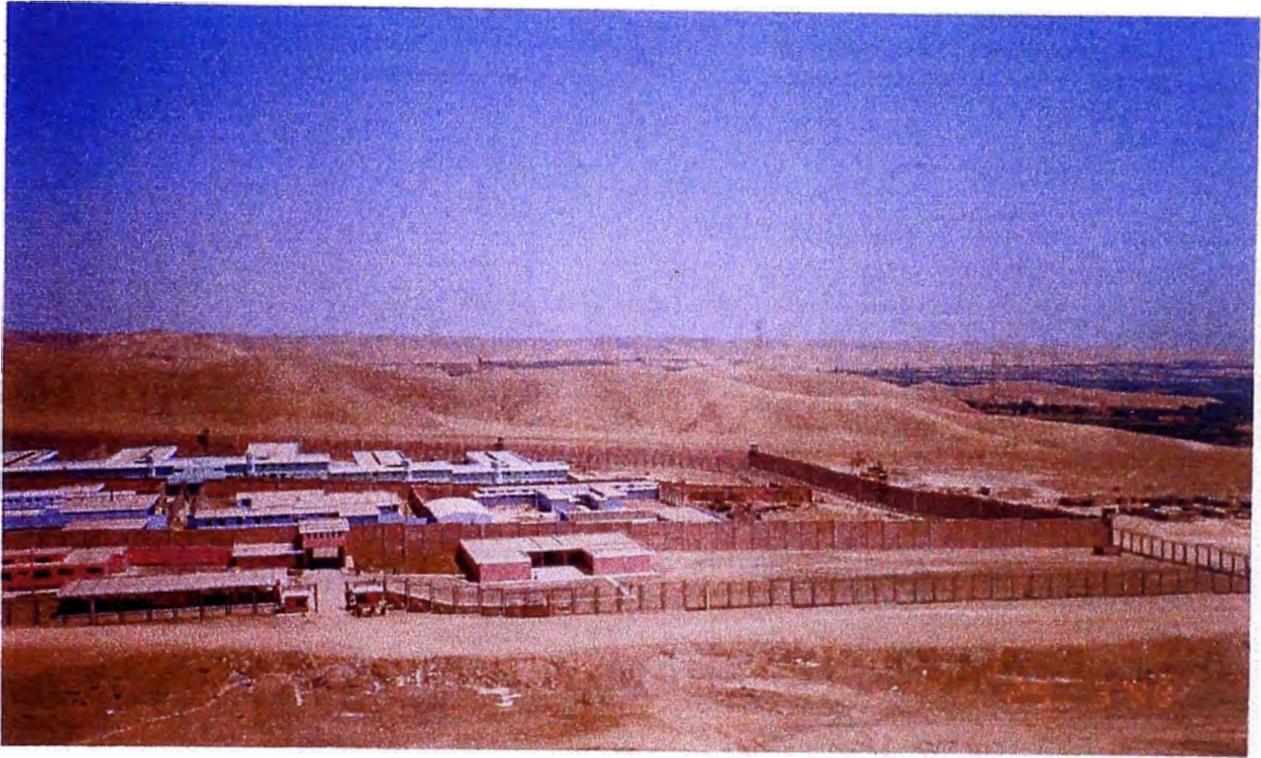
Corrosión del Concreto de Mediana a Baja Resistencia por acción del Cloruro de Sodio

*TP SN FIC UNI-2000
Avenidaño Aroni, Angel*

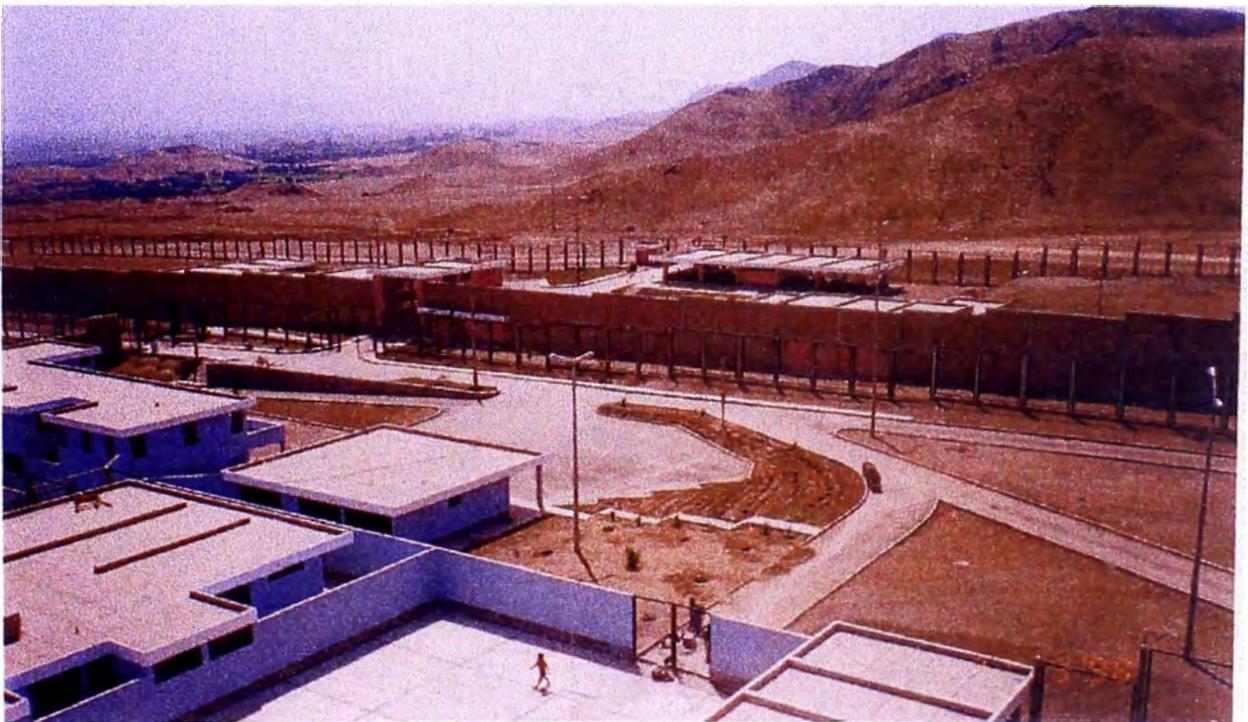
Expediente Técnico Penal Cañete

Instituto Nacional Penitenciario (INPE).

ANEXOS



VISTA PANORAMICA DEL PENAL



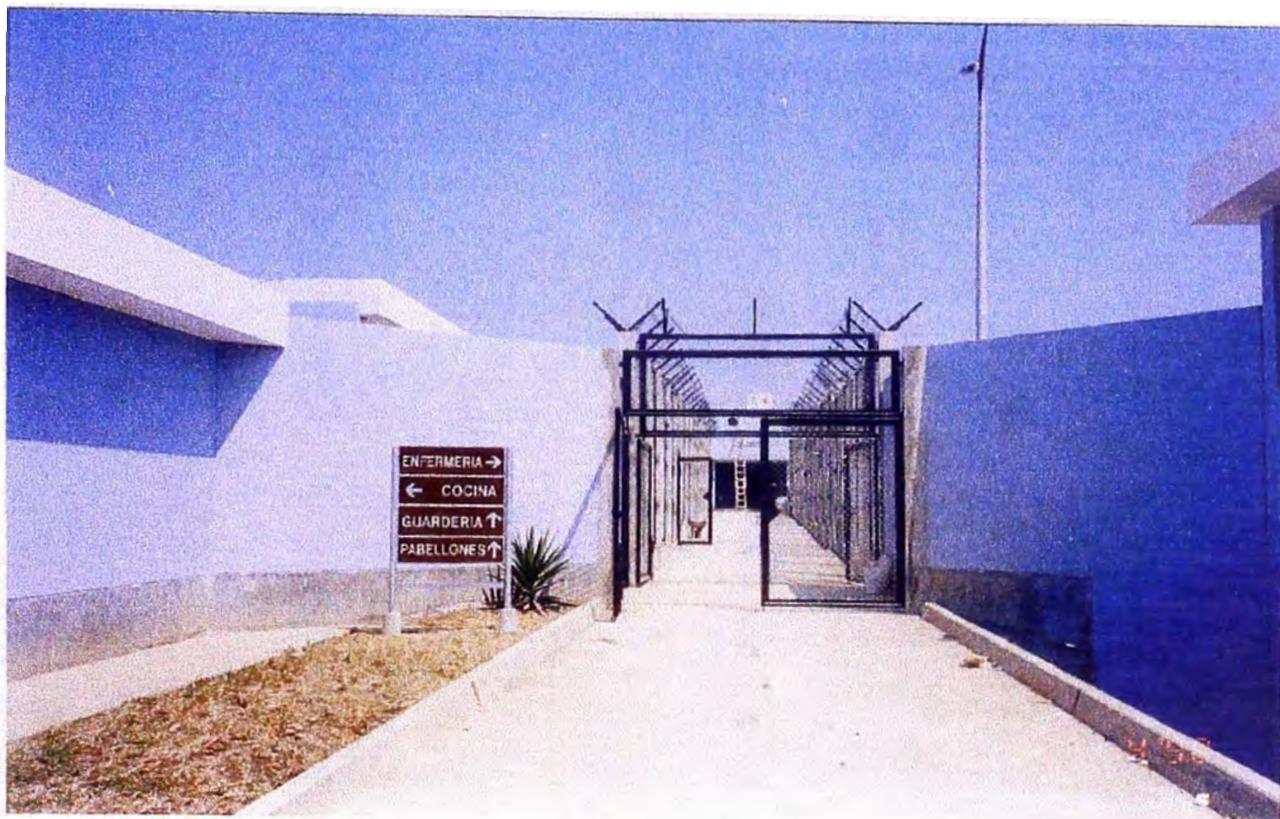
ENTRADA PRINCIPAL DEL PENAL



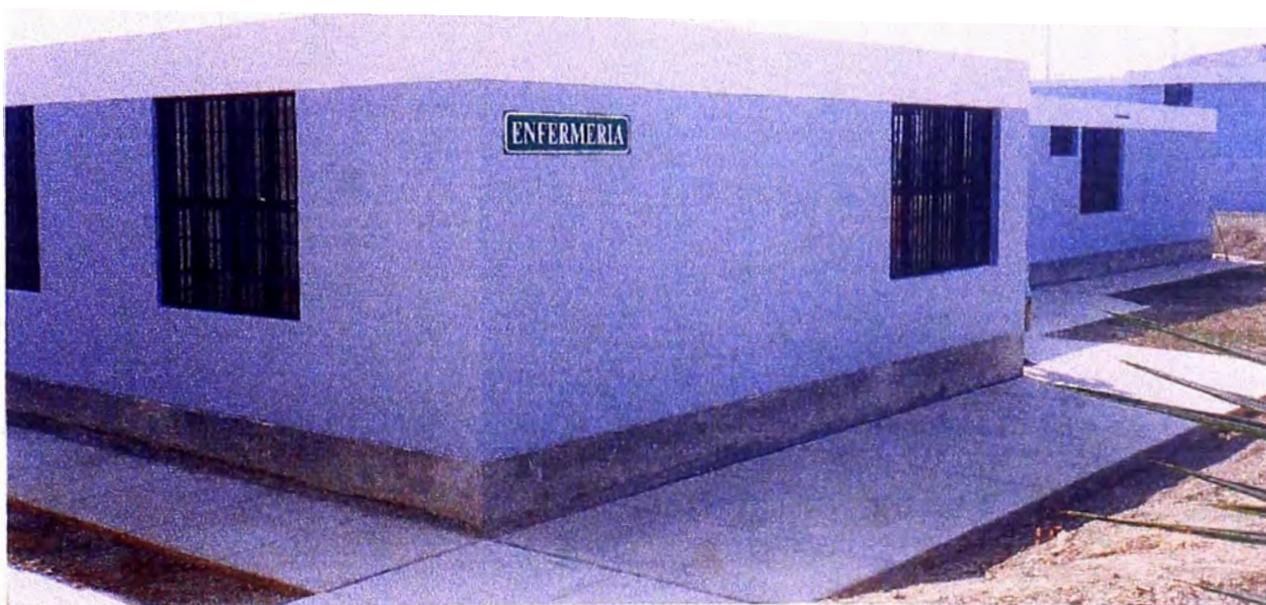
CONSTRUCCION DEL TANQUE ELEVADO



ENFIERRADO DE LOSA MACIZA EN PABELLO DE INTERNOS



ACCESO A LOS PABELLONES DE INTERNAMIENTO



VEREDA CO STRUIDA ALREDEDOR DE ENFERMERIA



DETERIORO MAYOR DEL MURETE POR FALTA DE REVESTIMIENTO Y CONTACTO DIRECTO CON EL TERRENO



DETERIORO MENOR DE LA FACHADA REVESTIDA POR LA UBICACIÓN DE LA VEREDA

MICHELENA CARDENAS
Ingeniero Consultor
REG. CIP # 3289

ESTUDIO DE SUELOS PARA
UN NUEVO ESTABLECIMIENTO
PENITENCIARIO EN CAÑETE

ESTUDIO DE SUELOS PARA UN NUEVO
ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO
EN CAÑETE

ÍNDICE

<u>ÍTEM</u>	<u>Pág. #</u>
1.0.0.- Aspectos Generales.....	1
1.1.0.- Contenido del Informe.....	1
1.2.0.- Limitaciones	1
1.3.0.- Estructuras Propuestas por el Cliente.....	2
2.0.0.- Características de la Zona	2
2.1.0.- Ubicación	2
2.2.0.- Descripción General del Terreno	3
3.0.0.- Geología	3
4.0.0.- Trabajos Efectuados	3
4.1.0.- Exploración de Campo	3
4.2.0.- Ensayos de Laboratorio.....	4
5.0.0.- Perfil del Suelo.....	4
6.0.0.-Profundidad de la Napa Freática	5
7.0.0.- Análisis de la Cimentación.....	5
7.1.0.- Tipo de Cimentación	5
7.2.0.- Profundidad de Cimentación	5
7.3.0.- Presión Admisible.....	6
8.0.0.-Efecto de Sismo.....	6
8.1.0.- Comportamiento Sísmico de los Suelos.....	6
8.2.0.- Período Predominante de Vibración del Terreno.....	7
8.3.0.- Fuerza Sísmica Horizontal	7

ESTUDIO DE SUELOS PARA UN NUEVO ESTABLECIMIENTO PENITENCIARIO EN CAÑETE

RESUMEN Y CONCLUSIONES

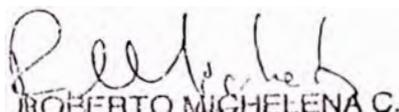
El perfil estratigráfico del subsuelo es sensiblemente homogéneo y está constituido por una capa superior de arena gruesa con material fino, predominantemente limos con cantidad variable según la ubicación, y grava fina o gravilla, cuyo espesor varía en las calicatas excavadas entre 10 y 20 cm. A continuación, se encontró una capa variable de grava arenosa, con menor cantidad de material fino, densa y de tamaño máximo que varía de 4" a 6". En algunas calicatas se encontró un estrato, que comenzaba entre los 2.5 a 3.0 m. de profundidad y que se extendía hasta el final de la excavación, de material granular de densidad más baja con una grava un poco más fina llegando en algunos casos a ser una grava arenosa.

Teniendo en cuenta las características físicas y mecánicas que presenta el perfil estratigráfico del subsuelo y el tipo de la estructura a construir, se recomienda cimentar las estructuras en el depósito de grava arenosa, el cual se encontró casi superficialmente.

En base a la experiencia obtenida en estos tipos de suelos debe tomarse como profundidad mínima cimentación 1 m. de la superficie del terreno, para asegurar un buen confinamiento de las zapatas. Para el caso particular del cerco perimetral, se recomienda adoptar una profundidad mínima de cimentación de 0.60 m con respecto a la superficie del terreno.

Teniendo en cuenta las características de los suelos que se encontrarán dentro de la profundidad activa de la cimentación, se recomienda cimentar sobre el estrato de grava arenosa con una presión admisible de 4 Kg/cm^2 . Esta presión se encuentra controlada por asentamientos y corresponde a un asentamiento de 2.5 cm, que es el máximo tolerable por estructuras convencionales.

Lima, mayo de 1996


ROBERTO MICHELENA C.
Registro CIP # 3289

Sin embargo, por la naturaleza misma de los suelos encontrados, en los que siendo necesario generalizar la información obtenida en algunos sondeos a toda el área del proyecto, no siempre es posible tener seguridad total acerca de la generalización efectuada. Por lo tanto se recomienda, que en el caso poco probable que durante la construcción se observasen suelos con características diferentes a las indicadas en este informe, se notifique de inmediato al Proyectista para efectuar las correcciones necesarias.

1.3.0.- Estructuras Propuestas por el Cliente

En el terreno se ha proyectado la construcción de un Centro Penitenciario compuesto por 4 pabellones de hombres, un pabellón de mujeres, guardería, control central, cocina, talleres, casa de fuerza, depósito, centro médico, administración, oficinas centrales, auditorio, zona de visitas, Sala Judicial, admisión y local para la Policía Nacional del Perú.

El establecimiento a construirse ocupa en planta un área construida en planta de 7,850 m² aproximadamente y con una estructuración y número de pisos desconocidos hasta el momento.

Para el diseño de la cimentación deberán utilizarse las cargas que se obtengan en el análisis estructural.

2.0.0.- Características de la Zona

2.1.0.- Ubicación

El área estudiada ocupa una extensión aproximada de 6.5 Has correspondientes a la zona por construir y se encuentra ubicada cerca al poblado Cantero en el distrito de Nuevo Imperial, provincia de Cañete, departamento de Lima.

C. C.
A. C.
123
E.C. 9614 informe
CIVIL
n. 091014

May 29, 1996

2.2.0.- Descripción General del Terreno

El terreno es de forma rectangular y muestra una topografía prácticamente llana con una pendiente aproximada de 6% en dirección oeste. En las periferias se encuentran cerros de corta a mediana altura.

En las zonas adyacentes no existen elementos naturales ni edificaciones u otras instalaciones que deban ser consideradas para efectos del presente informe.

Actualmente el terreno no está siendo utilizado. El acceso a la zona se efectúa a través de un camino carrozable.

3.0.0.- Geología

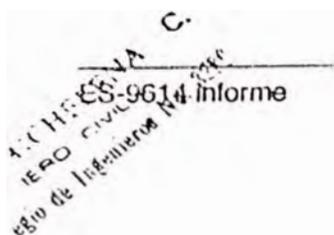
El terreno materia del estudio está ubicado sobre la llanura costera. A cierta distancia se encuentran cerros pertenecientes a los primeros contrafuertes andinos.

El material encontrado, conformado principalmente por grava fina angular, muestra que el terreno no corresponde a depósitos de acarreo de origen fluvial sino más bien por intemperización de las formaciones rocosas de los cerros adyacentes. En el proceso de excavación se han encontrado algunos fragmentos de roca sub-angulares entre 7" y 10".

4.0.0.- Trabajos Efectuados

4.1.0.- Exploración de Campo

El programa de exploración de campo llevado a cabo consistió en un total de 9 calicatas excavadas a mano, denominadas C-1 al C-9, las cuales alcanzaron



May 29, 1996

profundidades comprendidas entre 3 y 5 m. con respecto a la superficie del terreno.

En cada una de las calicatas se registró cuidadosamente el perfil estratigráfico y se clasificaron visualmente los suelos encontrados, de acuerdo a los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

En la Lámina N° 9614-01 se indica la ubicación de los sondeos y en las Láminas N° 9614-02 a 9614-10 se encuentran los perfiles de suelos correspondientes.

4.2.0.- Ensayos de Laboratorio

En el laboratorio se verificó la clasificación visual de todas las muestras obtenidas y se seleccionaron muestras típicas para ejecutar con ellas:

- Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422)

Después de realizada la clasificación visual, se procedió a comparar sus resultados con las características de los suelos estimadas en el campo, efectuándose las compatibilizaciones correspondientes en los casos en que fue necesario. De esta manera se obtuvieron los perfiles de suelos definitivos, que son los que se presentan.

En el cuadro 9614-01 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio.

5.0.0.- Perfil del Suelo

El perfil estratigráfico del subsuelo es sensiblemente homogéneo y está constituido por una capa superior de arena gruesa con material fino, predominantemente limos con cantidad variable según la ubicación, y grava fina o gravilla, cuyo espesor varía en las calicatas excavadas entre 10 y 20

cm.

LEVA C.
No. 221

A continuación, se encontró una capa variable de grava arenosa, con menor cantidad de material fino, densa y de tamaño máximo que varía de 4" a 6".

En algunas calicatas se encontró un estrato, que comenzaba entre los 2.5 a 3.0 m. de profundidad y que se extendía hasta el final de la excavación, de material granular de densidad más baja con una grava un poco más fina llegando en algunos casos a ser una arena gravosa.

Durante la excavación no se ha encontrado ningún vestigio de sulfatos ni de otras sales solubles, por lo que no se requiere ensayos de laboratorio para determinación de su contenido.

6.0.0.-Profundidad de la Napa Freática

Dentro de la profundidad investigada no se ha detectado napa freática ni material húmedo. Todos los materiales encontrados se encuentran en estado seco.

7.0.0.- Análisis de la Cimentación

7.1.0.- Tipo de Cimentación

En base a las propiedades físicas y mecánicas que presenta el perfil estratigráfico del terreno investigado, así como a las características de la edificación por construir, se ha determinado que en el presente caso el tipo de cimentación más adecuado, técnica y económicamente es el superficial, ya sea mediante zapatas aisladas o continuas.

7.2.0.- Profundidad de Cimentación

Teniendo en cuenta las características físicas y mecánicas que presenta el perfil estratigráfico del subsuelo y el tipo de la estructura a construir, se recomienda cimentar las estructuras en el depósito de grava arenosa, el cual se encontró casi superficialmente.

May 29, 1996

En base a la experiencia obtenida en estos tipos de suelos debe tomarse como profundidad mínima cimentación 1 m. de la superficie del terreno, para asegurar un buen confinamiento de las zapatas.

Para el caso particular del cerco perimetral, se recomienda adoptar una profundidad mínima de cimentación de 0.60 m con respecto a la superficie del terreno.

7.3.0.- Presión Admisible

El suelo que se encontrará dentro de la profundidad activa de cimentación es grava arenosa de medianamente densa a densa. En este tipo de suelo, que es común en muchos valles de la Costa del Perú, es imposible la ejecución de ensayos de penetración, que son los que usualmente se utilizan para determinar la presión admisible en suelos no cohesivos. Por lo tanto, el diseño de la cimentación deberá basarse en la experiencia obtenida en suelos de características similares.

Teniendo en cuenta las características de los suelos que se encontrarán dentro de la profundidad activa de la cimentación, se recomienda cimentar sobre el estrato de grava arenosa con una presión admisible de 4 Kg/cm². Dado que el material predominante es granular, la presión admisible se encuentra controlada por asentamientos y la cual corresponde a un asentamiento diferencial de 2 (5) cm, que es el máximo tolerable por estructuras convencionales.

8.0.0.-Efecto de Sismo

8.1.0.- Comportamiento Sísmico de los Suelos

Los suelos encontrados en el presente estudio, tanto por encima como por debajo de los niveles de cimentación recomendados, consisten en todos los casos de suelos granulares predominantemente densos.

Adicionalmente, cabe señalar que en ninguna de las ubicaciones se ha detectado nivel freático dentro de la profundidad investigada.

En consecuencia, los suelos materia del presente estudio no son susceptibles de modificar sus propiedades mecánicas como consecuencia de las vibraciones originadas por los sismos, por lo cual no será necesario tomar ninguna precaución especial en relación a variaciones en las propiedades de los suelos como consecuencia de los sismos.

8.2.0.- Período Predominante de Vibración del Terreno

Las características que presentan los movimientos sísmicos en la superficie del terreno están influenciadas significativamente por los espesores y propiedades de los estratos de suelos existentes en un lugar, la posición de la napa freática, la profundidad y configuración del basamento rocoso.

Un parámetro que ayuda a evaluar el comportamiento de un depósito de suelos frente a sollicitaciones sísmicas, es el período predominante de vibración de la superficie, el cual a su vez es función principalmente de la profundidad del depósito, de la estratigrafía del mismo y de las propiedades de los suelos que lo conforman.

Para el tipo de suelos encontrados, se recomienda adoptar un valor del período fundamental de vibración de $T_S = 0.3$ seg.

8.3.0.- Fuerza Sísmica Horizontal

De acuerdo a las Normas Peruanas de Diseño Sismo-Resistente, las edificaciones a construir deberán estar diseñadas para las condiciones correspondientes a la zona 1 al suelo tipo y edificación tipo B del mencionado documento, correspondiéndoles Factor de Zona (Z) igual a 1, Factor de Suelo (S) igual a 1, y Factor de Uso (U) igual a 1.3, respectivamente.

Tanto el valor del período fundamental de la estructura (T), necesario para evaluar el coeficiente sísmico (C), como los valores del factor de ductilidad (R_d) y peso de la edificación (P), deberán ser evaluados por el Proyectista, ya que dependen de las características propias de cada edificación. De esta manera, reemplazando dichos valores conjuntamente con los valores de Z , U y S , en la expresión que define a H , se obtendrá finalmente la fuerza sísmica horizontal a considerar en el análisis estructural de las edificaciones.

Lima, mayo de 1996



ROBERTO MICHELENA C

Registro CIP # 3289



LIMITE DEL PENAL 250 x 260 m.

ACCESO

115

120

ROBERTO MICHELENA C.
 INGENIERO CIVIL
 del Colegio de Ingenieros No.

INSTITUTO NACIONAL PENITENCIARIO

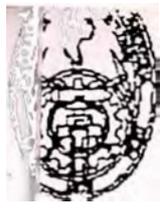
ESTUDIO DE SUELOS EN UN TERRENO

EN CAÑETE

UBICACION DE SONDEOS

ROBERTO MICHELENA CARDENAS
 Ingeniero Consultor

ESC : 1/1000
 LAM : 9614-1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301 - Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811072 anexos 295 Telefax 4818845

Pag. 1

INFORME

Del LABORATORIO Nº1-ENSAYO DE MATERIALES
 A ARAMSA CONTRATISTAS GENERALES
 Obra L.P. 01-96 - INPE "CONSTRUCCION DEL E.P. CAÑETE"
 Asunto Ensayo de Diseño de Mezcla
 Expediente 97-701
 Recibo 17839
 Fecha 08 de Mayo de 1997

1.0 MATERIALES

1.1 Cemento

Se utilizó cemento Portland tipo I, marca Sol; proporcionado por el Peticionario.

1.2 Agregado Fino

Consistente en Arena Gruesa, procedente de la Cantera CALCOPIA; muestra proporcionada por el Peticionario.

Granulometría : (ITINTEC 400.012)

Malla	%Retenido
1/4"	3.74
Nº4	7.44
Nº8	23.00
Nº16	28.44
Nº30	18.62
Nº50	10.20
Nº100	3.96
Fondo	4.60

Módulo de Fineza = 3.8

Peso Específico

p.e. de masa 2.69
 p.e. de masa sat. sup. seco 2.70
 p.e. aparente 2.72

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301-Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070-anexo 295 Telefax 4819845

Pag. 2

Peso Unitario

p.u. suelto 1,725 kg/m³
p.u. compactado 1,945 kg/m³

Humedades

% Humedad 0.91%
% Absorción 1.07%

1.3 Agregado Grueso :

Consistente en Piedra, procedente de la Cantera CALCOPA-NUEVO IMPERIAL-CANETE; muestra proporcionada por el Peticionario.

Granulometría (ITINTEC 400.012)

Malla	%Retenido
1"	8.17
3/4"	11.82
1/2"	27.18
3/8"	25.76
1/4"	21.38
Fondo	5.69

Módulo de Fineza = 6.93

Peso Específico

p.e. de masa 2.75
p.e. de masa sat. sup. seco 2.78
p.e. aparente 2.82

Peso Unitario

p.u. suelto 1,534 kg/m³
p.u. compactado 1,718 kg/m³

Humedades

% Humedad 0.60 %
% Absorción 0.85 %

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301 - Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4818845

Pag. 3

2.0 DISEÑO DE MEZCLA ($f'c=140$ kg/cm²) CEMENTO PORTLAND TIPO I, MARCA SOL

2.1. Características Generales

Denominación.....	$f'c=140$ kg/cm ²		
Asentamiento	3" - 4"		
Relación a/c de diseño.....	0.70		
Relación a/c de obra	0.72		
Proporciones de diseño.....	1.0	3.1	3.5
Proporciones de obra	1.0	3.2	3.6

2.2. Cantidad de material por m³ de concreto en obra

Cemento	281	kgs
Arena	903	kgs
Piedra	1004	kgs
Agua	201	lts

2.3. Cantidad de material por saco de cemento de obra

Cemento	42.5	kgs
Arena	136.0	kgs
Piedra	153.0	kgs
Agua	30.0	lts/saco

2.4. Proporciones aproximadas en volumen

Proporciones	1.0	2.75	3.5
Agua	30.0	lt/saco	

HECHO POR
TECNICO

Ing. A.T.C.
T.M.T./C.R.D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4819845

Pag. 5

4.0 DISEÑO DE MEZCLA ($f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$) CEMENTO PORTLAND TIPO I, MARCA SOL

4.1. Características Generales

Denominación..	..	.	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$		
Asentamiento	.....		3" - 4"		
Relación a/c de diseño..	....		0.60		
Relación a/c de obra ..	....		0.62		
Proporciones de diseño. .	....		1.0	2.61	2.91
Proporciones de obra ..	..	..	1.0	2.63	2.93

4.2. Cantidad de material por m³ de concreto en obra

Cemento	333	kgs
Arena	877	kgs
Piedra	976	kgs
Agua	205	lts

4.3. Cantidad de material por saco de cemento de obra

Cemento	42.5	kgs
Arena	112.0	kgs
Piedra	125.0	kgs
Agua	26.0	lts/saco

4.4. Proporciones aproximadas en volumen

Proporciones	1.0	:	2.3	:	2.9
Agua	26.0				lt/saco

HECHO POR
TECNICO

Ing. A.T.C.
T.M.T./C.R.D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apertado Postal 1301-Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4818845

Pag. 1

INFORME

Del LABORATORIO N°1-ENSAYO DE MATERIALES
A ARAMSA CONTRATISTAS GENERALES
Obra L.P. 01-96-INPE "CONSTRUCCION DEL E.P. CAÑETE"
Asunto Ensayo de Diseño de Mezcla
Expediente 97-701
Recibo 17839
Fecha 08 de Mayo de 1997

1.0 MATERIALES

1.1 Cemento

Se utilizó cemento Portland Tipo I, marca Sol.

1.2 Agregado Global :

Consistente en Agregado Global (Hormigón), procedente de la Cantera CALCOPIA NUEVO IMPERIAL-CAÑETE; muestra proporcionada por el Peticionario.

Granulometría (ITINTEC 400.012)

Malla	%Retenido
1 1/2"	1.72
1"	8.89
3/4"	9.61
1/2"	11.71
3/8"	7.39
1/4"	11.29
Nº4	5.16
Nº8	12.16
Nº16	10.52
Nº30	7.61
Nº50	6.77
Nº100	4.44
Fondo	2.73
Módulo de Fineza	5.40

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4818845

Pag. 2

Peso Específico del Hormigón

p.e. de masa	2.71
p.e. de masa sat. sup. seco	2.72
p.e. aparente	2.73

Peso Unitario del Hormigón

p.u. suelto	1,846 kg/m ³
compactado	2,087 kg/m ³

Humedades

% Humedad	0.88%
-----------------	-------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4819845

Pag. 3

2.0 DISEÑO DE MEZCLA ($f'_c=100 \text{ kg/cm}^2$) CEMENTO PORTLAND TIPO I, MARCA SOL

2.1. Características Generales

Denominación..	..	..	$f'_c=100 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento	.....	.....	3" - 4"
Relación a/c de diseño..	.	.	0.73
Relación a/c de obra	....	.	0.75
Proporciones de diseño.	..	..	1.0 7.5
Proporciones de obra	.....	..	1.0 7.6

2.2. Cantidad de material por m³ de concreto en obra

Cemento	243	kgs
Hormigón.....	1842	kgs
Agua	183	lts

2.3. Cantidad de material por saco de cemento de obra

Cemento	42.5	kgs
Hormigón.....	323.0	kgs
Agua	32.0	lts/saco

2.4. Proporciones aproximadas en volumen

Proporciones	1.0 : 6.12
Agua	32.0 lt/saco

HECHO POR
TECNICO

Ing. A.T.C.
C.R.D.-T.M.T.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apertado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 295 Telefax 4819845

Pag. 4

3.0 DISEÑO DE MEZCLA ($f'c=140 \text{ kg/cm}^2$) CEMENTO PORTLAND TIPO I, MARCA SOL

3.1. Características Generales

Denominación.....	$f'c=140 \text{ kg/cm}^2$	
Asentamiento	3" - 4"	
Relación a/c de diseño.....	0.68	
Relación a/c de obra	0.69	
Proporciones de diseño.....	1.0	6.6
Proporciones de obra	1.0	6.8

3.2. Cantidad de material por m³ de concreto en obra

Cemento	270	kgs
Hormigón.....	1845	kgs
Agua	185	lts

3.3. Cantidad de material por saco de cemento de obra

Cemento	42.5	kgs
Hormigón.....	289.0	kgs
Agua	29.0	lts/saco

3.4. Proporciones aproximadas en volumen

Proporciones	1.0 : 5.6	
Agua	29.0 lt/saco	

HECHO POR
TECNICO

Ing. A.T.C.
C.R.D.-T.M.T.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Apartado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 285 Telefax 4819845

Pag. 5

4.0 DISEÑO DE MEZCLA ($f'c=210 \text{ kg/cm}^2$) CEMENTO PORTLAND TIPO I, MARCA SOL

4.1. Características Generales

Denominación.....	$f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento	3" - 4"
Relación a/c de diseño.....	0.58
Relación a/c de obra	0.59
Proporciones de diseño.....	1.0 6.0
Proporciones de obra	1.0 : 6.2

4.2. Cantidad de material por m³ de concreto en obra

Cemento	316	kgs
Hormigón.....	1944	kgs
Agua	186	lts

4.3. Cantidad de material por saco de cemento de obra

Cemento	42.5	kgs
Hormigón.....	264.0	kgs
Agua	25.0	lts/saco

4.4. Proporciones aproximadas en volumen

Proporciones	1.0 : 5.0
Agua	25.0 lt/saco

HECHO POR
TECNICO

Ing. A.T.C.
C.R.D.-T.M.T.

DESCRIPCIÓN

TORODIN es una membrana impermeabilizante a base de asfalto modificado con polímeros de APP (polipropileno atáctico) o BS (estireno-butadieno-estireno), estructurado con filamentos continuos de poliéster, no tejidos, previamente estabilizado. espesores: 3, 4 y 5 mm.

FORMALIZACIÓN

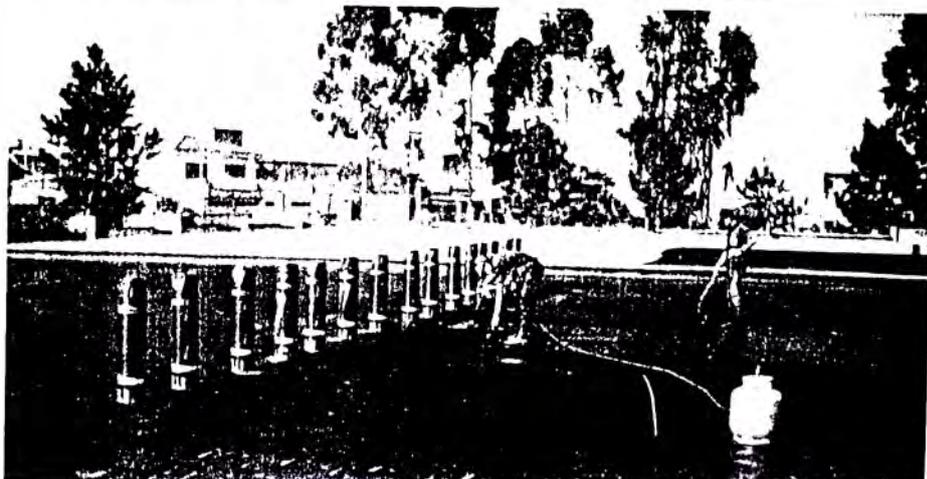
Ensayos y especificaciones según NBR 952 - Brasil.

PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

Las membranas TORODIN son fabricadas en los espesores de 3, 4 y 5 mm, en bobinas de 1 m de ancho por 10 m de largo. TORODIN 3 mm - es entregada en pallets cerrados con 25 bobinas (250 m²), protegidas por un film de polietileno termocontraíble.

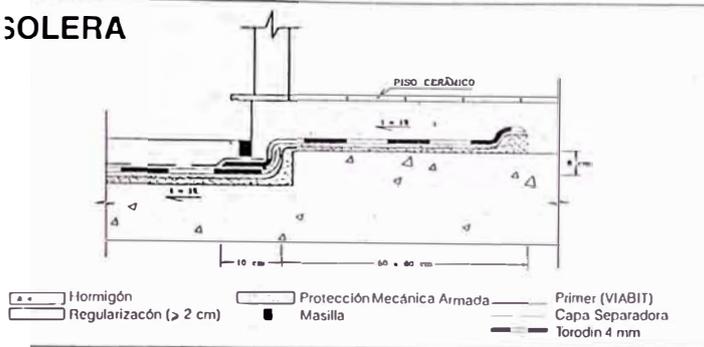
TORODIN 4 mm - es entregada en pallets cerrados con 20 bobinas (200 m²), protegidas por un film de polietileno termocontraíble.

TORODIN 5 mm - es entregada en pallets cerrados con 16 bobinas (160 m²), protegidas por un film de polietileno termocontraíble.

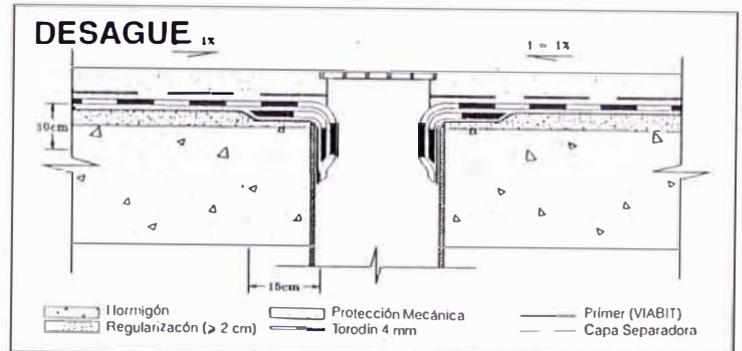


CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	TORODIN APP 3, 4 e 5 mm	TORODIN SBS 3, 4 e 5 mm
Resistencia a la tracción longitudinal (mín.)	900N/5 cm	900N/5 cm
Resistencia a la tracción transversal (mín.)	780N/5 cm	780N/5 cm
Alargamiento longitudinal de ruptura (mín.)	50%	50%
Alargamiento transversal de ruptura (mín.)	50%	50%
Resistencia longitudinal al rasgado (mín.)	170N	170N
Resistencia transversal al rasgado (mín.)	180N	180N
Resistencia al punzado estático	245N	245N
Resistencia al impacto	4,90 J	4,90 J
Flexibilidad a baja temperatura (°C)	-5	-8
Escurrecimiento al calor (°C)	110	105
Absorción de agua (máx.)	0,5 g	0,5 g
Producto carga deformación (mín.)	39.000N.%	39.000N.%
Penetración a 25°C (10) ^{-1mm}	15 a 30	20 a 40
Penetración a 60°C (10) ^{-1mm}	65 a 100	85 a 140
Punto de ablandamiento (°C)	145 a 155	100 a 120

SOLERA



DESAGUE



DESEMPEÑO DEL PRODUCTO

- Totalmente impermeable;
- Elevada estabilidad térmica y dimensional;
- Excelente resistencia a los esfuerzos mecánicos, soportando las sobrecargas de protección mecánica;
- Elevada durabilidad;
- Excelente resistencia al punzonado estático y dinámico;
- Elevada resistencia al ozono, aún desprotegido;
- Excelente flexibilidad;
- Amplio rango de resistencia a la temperatura;
- Excelente resistencia a la fatiga dinámica;
- Óptimo para colocar, no presentándose blando ni pegajoso en las condiciones y temperaturas usuales de trabajo.

AMPO DE APLICACIÓN

- TORODIN 3mm** - balcones y terrazas, losas macizas, lasas bajo tejados, canaletas, vigas canaletas, estanques, pisos internos de salas de máquinas, de laboratorios, de hospitales, paredes en contacto con el suelo.
- TORODIN 4mm** - losas térreas sobre garages transitables o no, losas de terrazas, play-ground, estacionamiento

para vehículos de pequeño porte, techos inclinados, reservorios de hormigón, piscinas elevadas o enterradas sin influencia de capa freática, estanques suspendidos o apoyados en el suelo, techos industriales, rampas. **TORODIN 5mm** - losas premoldeadas (con aplicación parcialmente adherida), losas de estacionamiento para tránsito pesado, losas industriales, helipuertos, piscinas de mampostería, paredes, puentes y viaductos, túneles y galerías, sujetos o no influencia de capa freática aplicado por el lado externo con protección mecánica.

TERMINACIÓN SUPERFICIAL DE LA MEMBRANA

- PP: polietileno/polietileno en ambas caras para unión con soplete;
- AP: arena/polietileno, siendo el polietileno la cara de unión para la aplicación con soplete.
- Las membranas Torodin SBS con terminación PA ó AA pueden ser pegadas con asfalto caliente.

APLICACIÓN

Los productos Viapol deben ser aplicados por profesionales habilitados y de acuerdo con las instrucciones contenidas en los manuales de Viapol.

VIAPOL se reserva el derecho de alterar cuando fuere necesario, las informaciones y especificaciones en este folheto.



VIAPOL
TECNOLOGIA EXCLUSIVA
DE IMPERMEABILIZACIÓN

VIAPOL - IMPERMEABILIZANTES LTDA.

RUA CORREIA DIAS, 337 - 3º ANDAR - SÃO PAULO - SP
CEP 04104-001 - TEL: (011) 574-5010 - FAX: 571-7033