

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**MEJORAMIENTO DE LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS  
ENTERRADAS POR APLICACIÓN DE COBERTURA ASFÁLTICA  
APLICACIÓN AMPLIACION 06 SUB-ESTACION CHICLAYO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**WILMER DELGADO GOMEZ**

**Lima- Perú**

**2013**

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>9</b>
1.1 DEFINICION DEL PROYECTO	
1.2 VIDA UTIL	10
1.2.1 Vida residual	10
1.2.2 Deterioro de la durabilidad del concreto	10
1.3 PERIODOS DE VIDA UTIL	12
1.3.1 Norma Mexicana	12
1.3.2 Norma ACI Colombia	13
1.4 CONCEPTO DE DURABILIDAD	14
1.5 LA DURABILIDAD EN LAS DIFERENTES FASES DEL PROYECTO	15
1.5.1 La durabilidad en la fase del proyecto	15
1.5.2 La durabilidad en la fase de ejecución	16
1.6 COSTO DE LA DURABILIDAD	18
1.7 FACTORES QUE REDUCEN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	19
1.7.1 Congelamiento, deshielo y su mecanismo	20
1.7.2 Ambiente químicamente agresivo	20
1.7.3 Cloruros	21
1.7.4 Sulfatos	21
1.7.5 Abrasión	22

1.8 CORROSIÓN DE METALES EN EL CONCRETO	24
1.8.1 Mecanismo de la corrosión	24
1.8.2 Como combatir la corrosión	28
1.8.3 Reacción sílice – álcalis	29
1.8.4 Reacción carbonatos – álcalis	30
<b>CAPITULO II: IDENTIFICACION</b>	<b>31</b>
2.1 GENERALIDADES	31
2.1.1 Geografía y clima	31
2.1.2 Geología del lugar	32
2.1.3 Litoestratigrafía	32
2.2 DIAGNOSTICO DE LA SITUACION	33
2.3 DEFINICION DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS	34
2.4 ENSAYOS Y TECNICAS PARA EVALUAR LA CORROSION EN EL REFUERZO	35
2.4.1 Ensayo rápido de permeabilidad del cloruro ASTM C 1202 (RCPT)	35
2.4.2 Clasificación RCPT	36
2.4.3 Medidas de potencial de media celda	37
2.5 ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO DE LAS ARMADURAS	38
2.6 MEDIDAS DE MEJORAMIENTO DE LA PROTECCION DEL CONCRETO CONTRA LA CORROSION	39
<b>CAPITULO III: APLICACIÓN DE COBERTURA</b>	<b>41</b>
3.1 DEFINICION Y CLASIFICACION DE COBERTURAS	41
3.2 ANALISIS PARA LA ADOPCION DE LA COBERTURA ASFALTICA COMO SISTEMA DE PROTECCION DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	42
3.3 COMPONENTES DE LA COBERTURA ASFALTICA	45

3.4 PREPARACION DEL CONCRETO PREVIO A LA APLICACIÓN DE LA COBERTURA ASFALTICA	46
3.4.1 Preparación de la superficie	47
3.4.2 Preparación de la cobertura a aplicar	48
3.5 APLICACIÓN DE LA COBERTURA ASFALTICA EN ESTRUCTURAS ENTERRADAS	49
3.5.1 Forma de Aplicación	50
3.5.2 Numero de capas y espesor de la cobertura	51
3.5.3 Tiempo de secado	52
3.6 MANTENIMIENTO DE LA COBERTURA ASFALTICA	53
3.7 COSTO DE LA DURABILIDAD EN LA SUB-ESTACION CHICLAYO OESTE	53
3.7.1 Determinación del área para la aplicación del recubrimiento bituminoso	54
3.7.2 Cúantificación y comparación de los costos incurridos	55
<b>CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
4.1 CONCLUSIONES	57
4.2 RECOMENDACIONES	58
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>61</b>

## RESUMEN

El presente informe está orientado al estudio del mejoramiento de la durabilidad de las estructuras enterradas de concreto armado, basado en la recopilación de datos e información referente al proyecto "AMPLIACION 06 PIURA OESTE-CHICLAYO OESTE 220 KV", llevada a cabo durante los meses de enero a junio del 2011 en la ciudad de Chiclayo.

Conforme al desarrollo de la investigación, en el primer capítulo se da a conocer los aspectos generales del proyecto, definiciones acerca de la durabilidad que abarca el estudio de Normas Internacionales, así como los alcances de la patología y diversos comportamientos del concreto en los elementos estructurales.

En el segundo capítulo se lleva a cabo la identificación de los factores y causas que producen efectos negativos en el concreto a lo largo del tiempo, algunas son propias del tipo de suelo sobre cuales se asientan y otras ocasionadas por el paso del tiempo, desgaste, etc.

En el tercer capítulo se desarrolla la técnica de aplicación de cobertura asfáltica, su descripción, el desarrollo del proceso, la explicación de los procedimientos y la inspección general, así mismo se hace un análisis de las partidas y los costos que se incurren durante la aplicación de la cobertura asfáltica.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales y específicas de la investigación, así como las recomendaciones constructivas de acuerdo al contexto de la ciudad de Chiclayo, teniendo la consideración principal que las estructuras deben de cumplir con los requerimientos exigidos en nuestro país por el Reglamento Nacional de Edificaciones, el Código Nacional de Electricidad y la Norma G.050 de Seguridad durante la Construcción.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1.1	Agentes químicos y su velocidad de ataque a temperatura ambiente	20
Cuadro N°1.2	Agentes químicos y su velocidad de ataque a temperatura ambiente	22
Cuadro N°1.3	Requisitos para concreto expuesto a soluciones con cloruros	27
Cuadro N°1.4	Contenido máximo del ion cloruro	28
Cuadro N°1.5	Relaciones agua/cemento máximas para condiciones especiales de exposición	28
Cuadro N°1.6	Condiciones especiales de exposición	29
Cuadro N°2.1	Resumen de excavaciones	33
Cuadro N°2.2	Resumen de los resultados de los ensayos químicos	34
Cuadro N°2.3	Límites permisibles de sulfatos y cloruros	35
Cuadro N°2.4	Permeabilidad del concreto al ion cloruro	38
Cuadro N°3.1	Ventajas e inconvenientes de los sistemas de protección	42
Cuadro N°3.2	Áreas de aplicación de las diferentes estructuras	53
Cuadro N°3.3	Partida de protección superficial con cobertura bituminosa	53
Cuadro N°3.4	Actividades a ejecutarse para la reparación de la estructura	54
Cuadro N°3.5	Comparación de los costos ha incurrirse	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1	Vista satelital de la Sub Estación Eléctrica Chiclayo Oeste	9
Figura N°1.2	Vista externa de la SE	10
Figura N°1.3	Vista interna de la SE	10
Figura N°1.4	Vida útil de las estructuras de concreto en función de la resistencia de la estructura al deterioro	12
Figura N°1.5	Celda de corrosión electroquímica	24
Figura N°1.6	Celda de corrosión en concreto reforzado	25
Figura N°1.7	Herrumbre en la barra de refuerzo ocupa más volumen que el acero resultado de presiones internas que producen fisuras en el concreto	25
Figura N°1.8	Corrosión por microcelda y macrocelda	26
Figura N°1.9	Corrosión electrolítica del refuerzo en concreto expuesto a cloruros y humedad	26
Figura N°2.1	Ubicación y vías de acceso	31
Figura N°2.2	Dispositivo para el ensayo ASTM 1202	36
Figura N°2.3	Electrodo, voltímetro y probeta para la toma de potenciales	38
Figura N° 3.1	Pórtico deteriorado	44
Figura N° 3.2	Pórtico protegido con cobertura asfáltica	44
Figura N° 3.3	Vista de la cobertura aplicada en los pedestales	45
Figura N° 3.4	Limpieza y aplicación de lechosidad de cemento	48
Figura N° 3.5	Presentación de 55 galones de esmalte bituminoso Z BITUMEN DENSO	49
Figura N° 3.6	Se procede aplicar la cobertura a la superficie lateral de la zapata	50
Figura N° 3.7	Aplicación de la cobertura bituminosa con rodillo	51
Figura N° 3.8	Se debe esperar al menos 24h antes aplicar otra capa	52

## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

	Resistencia especificada a la fluencia de refuerzo
$f'c$	Resistencia especificada a la compresión del concreto
kV	Kilovoltio
mV	Milivoltio
p.p.m	Partes por millón
ACI	American Concrete Institute
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society of Testing and Material
EHE	Instrucción Española del Concreto Estructural
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
SENCICO	Servicio Nacional de Capacitación de para la Industria de la Construcción
SE	Sub-Estación Eléctrica
SLUMP	Asentamiento
DURAR	Red temática, asociación de grupos de investigación de entidades públicas o privadas de los países miembros del Programa CYTED.
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
ISA-REP	ISA Red de Energía del Perú S.A

## INTRODUCCIÓN

Siendo el concreto el material más utilizado en la construcción durante los últimos tiempos, ya que presenta ventajas sustanciales frente al acero, su principal competidor. Dichas ventajas como, un menor valor del costo inicial y un menor requerimiento de tecnología para su producción, lo han convertido en la alternativa de construcción más viable.

Durante mucho tiempo se creía que las construcciones de concreto perdurarían ilimitadamente, pero es en la década de los 80 donde se registran muchas construcciones que no mantenían la seguridad y la utilidad esperada a largo tiempo, por lo que dicha situación motivó a los investigadores a revisar y analizar las características asociadas con la resistencia mecánica del concreto

Hoy en día uno de los problemas de mayor relevancia que se aprecia en las construcciones de concreto es el deterioro debido a las condiciones del medio; es decir la falta de durabilidad de las estructuras. En nuestra costa los principales agentes agresores son cloruros, sulfatos y humedad los cuales ingresan a través de los poros del concreto, causando daños directos al concreto pero mayormente provocando la corrosión del acero de refuerzo. Al ocurrir esto se provoca la pérdida de la resistencia de la estructura debido a la reducción del área de acero para luego presentar agrietamiento y desprendimiento del concreto.

El ACI 201(ACI), establece el concepto de durabilidad del concreto como su capacidad para resistir la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión y cualquier otro proceso de deterioro; esto quiere decir que el concreto debe mantener las condiciones originales de forma, calidad y servicio cuando sea expuesto a su medio ambiente.

Es por estas razones que se busca mejorar las condiciones de durabilidad de las estructuras de concreto y en esa búsqueda la aplicación de cobertura asfáltica representa una alternativa práctica, segura y económica, ya que no requiere de tecnología sofisticada para su aplicación ni tiempos extensos para poder actuar sobre la estructura.

## CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1 DEFINICION DEL PROYECTO

La subestación eléctrica Chiclayo Oeste 220/60 kV está localizada en la Av. Miguel Bartra N° 500, Urb. Las Brisas, Chiclayo, Departamento Lambayeque. El proyecto se encuentra enmarcado dentro del contrato GT – 096-2010 para la ejecución de las Obras Civiles en las Subestaciones del Proyecto: “AMPLIACION 06 PIURA OESTE-CHICLAYO OESTE 220 KV”, siendo la entidad contratante Proyectos de Infraestructura S.A.C. (PDI), y el ejecutor o contratista Areva T & D Sucursal Perú, asimismo el subcontratista J.C Contratistas Generales E.I.R.L. Para este proyecto se contó con el diseño de ingeniería elaborado por Areva T & D Sucursal Perú, mientras que Ingeniería IEB Perú S.A.C, empresa que realizo la supervisión de las Obras. El proyecto inicio el 20 de enero del 2011 y finalizo el 29 de junio del 2011.

La obra civil está comprendida por dos sectores debidamente identificados, en el primer sector, se ejecutaron los trabajos relacionados con el movimiento de tierra y la construcción de una nueva plataforma en la cual se construyó una celda de acople para cimentaciones de equipos de 220 kV y para el traslado de los equipos de la celda de acople existente (Figura N°1.1). En el segundo sector se ejecutaron trabajos de demolición de pedestales, movimiento de tierras y la construcción de nuevas cimentaciones para equipos de 220 kV, asimismo el mejoramiento de la cimentación de pórticos existentes (Figura N°1.2 y 1.3). Las dos áreas comprenden a su vez; la construcción de canalizaciones y ductos; y la ampliación, modificación y/o conexión de la malla a tierra.



Figura N°1.1: Vista satelital de la Sub Estación Eléctrica Chiclayo Oeste



Figura N°1.2: Vista externa de la SE



Figura N°1.3: Vista interna de la SE

## 1.2 VIDA UTIL

La Red Temática DURAR define la vida útil como el: “Período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento”.

Se puede presentar dos tipos de vida útil:

Vida Útil de Diseño, que puede ser proyectada específicamente para una obra en particular (éste es usualmente el caso de estructuras muy especiales) o si se siguen las especificaciones de las Normas.

Vida Útil Real, se presenta cuando se ha alcanzado un nivel crítico o inaceptable de deterioro en la estructura, tal que hace a esta inservible para el propósito para el que fue proyectada o diseñada.

### 1.2.1 VIDA RESIDUAL

El reporte de DURAR manifiesta que “Se entiende por vida residual al tiempo a partir del momento en que la estructura alcanza el anterior límite aceptable (fin de la vida útil)”.

Sintetizando, la vida residual es el tiempo que tiene el propietario de la estructura, o elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta llevar a la estructura al límite de posible colapso.

### 1.2.2 DETERIORO DE LA DURABILIDAD EN EL CONCRETO

Diferentes factores actúan durante la vida útil de cualquier obra de concreto, afectando de algún modo sus características de durabilidad. Estas condicionantes pueden depender tanto de la acción del entorno o medio ambiente, como de las propiedades intrínsecas del concreto.

El diseño global de la obra, su interrelación con el suelo, diseño de los elementos constructivos y su posterior elaboración con la adecuada selección de los

materiales componentes y colocación en obra, juegan también un rol importantísimo.

Para comprender las causas del deterioro de la durabilidad del concreto, podemos dividirla en dos partes.

a) Causas Internas:

Se definen como causas internas aquellas que se relacionan con cambios volumétricos que ocurren dentro del concreto. La reacción química del cemento con el agua, conocida como hidratación, genera distintas reacciones químicas que pueden llegar a producir daños severos al concreto por el efecto de aumentos de volumen. Esta misma reacción química genera un fuerte aumento en la temperatura del concreto, el cual, al comenzar a enfriarse puede producir grietas de consideración. La eventual reacción de álcalis libres con áridos de alto contenido de sílice es iniciadora de una reacción incontrolable que también induce a un aumento interno de esfuerzos.

La pérdida del agua de mezclado produce cambios físicos conocidos como retracción de secado, pudiendo iniciarse desde muy temprana edad.

En este caso se producen fisuras superficiales. Si se generan con el tiempo, las fisuras pueden alcanzar todo el espesor del elemento.

b) Causas Externas:

Otras causas actúan externamente sobre la estructura. Las más típicas se refieren a las acciones de las cargas, ya sean estáticas o dinámicas, la acción del fuego, sismos, temperatura y viento extremo, asentamientos diferenciales, etc. Éstas inciden con esfuerzos de toda índole sobre el elemento, bastando que se sobrepasen las respectivas resistencias características del concreto para que ocurra un daño.

Sobre la superficie del concreto existe, debido al uso, un desgaste mecánico, abrasión e impacto, y, actuando sobre el recubrimiento del concreto se encuentran una serie de agentes nocivos, como el CO<sub>2</sub>- carbonatación, cloruros –sales descongelantes, aguas con sulfatos, ciclos hielo/deshielo, y otros líquidos y gases agresivos. Este último tipo de causales puede llevar a la oxidación de la varilla, iniciando un nuevo tipo de daño con aparición de grietas y desprendimientos. Los malos procedimientos constructivos también fomentan la generación de daños, como el hecho de excesos de vibrado - segregación, mala

colocación de mallas - inducción de grietas sobre la superficie, desplazamiento de moldes en acabados superficiales.

En resumen, durante la vida útil del concreto es "normal" la aparición de fisuras, las cuales pueden y deben ser reparadas, de acuerdo al uso que tenga la respectiva estructura, pero de aquí en adelante, si se produce procesos más fuertes que debilitan a la estructura, es punto de partida de estudio.

### 1.3 PERIODOS DE TIEMPO DE VIDA UTIL

#### 1.3.1 Norma Mexicana

Los estados límites de una estructura, llamados también valores mínimos de servicio (o valores máximos aceptables de degradación), (Figura N°1 se indican a continuación :

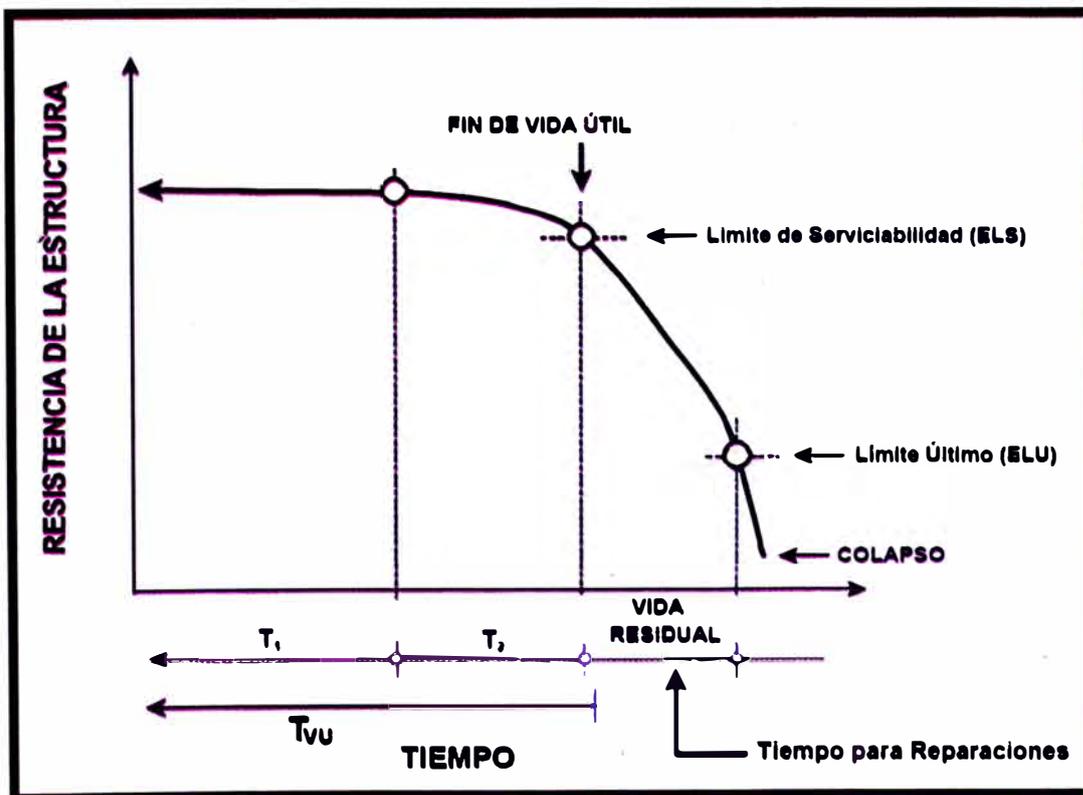


Figura N°1.4: Vida útil de las estructuras de concreto en función de la resistencia de la estructura al deterioro

a) El Estado Límite de Servicio (ELS) corresponde al punto en el tiempo el cual la estructura ha llegado a su vida útil, es decir, "es el estado en el cual los requerimientos de servicio de una estructura o elemento estructural (seguridad, funcionalidad y estética) ya no se cumplen."

b) El Estado Limite Ultimo (ELU), es el estado en que la estructura o elemento estructural “se encuentra asociado con colapso u otra forma similar de falla estructural.” El reporte DURAR indica que el ELU es el tiempo en el cual la estructura llega a un estado de degradación inaceptable antes de que sufra un colapso inminente, cumpliéndose:  $ELU < TIEMPO DE COLAPSO$ .

c) Probabilidad de Falla, se podría definir como la probabilidad de exceder cierto estado límite, ya sea el ELS o el ELU. El término “falla por durabilidad” es usado cuando existe una falla por degradación del material en una estructura o elemento estructural, en comparación de “falla mecánica”, la cual es causada por cargas mecánicas externas.

### 1.3.2 Norma ACI Colombia

En el caso de deterioro de la estructura por corrosión de la armadura, se puede distinguir por lo menos tres situaciones:

a) Un período de tiempo que va hasta la despasivación de la armadura, el cual se denomina, normalmente, período de iniciación. A este período de tiempo se puede asociar la llamada vida útil de proyecto. Normalmente corresponde al período necesario para que el frente de carbonatación o el frente de cloruros alcancen la varilla. Por frente de carbonatación se entiende la posición de la interface entre una región carbonatada, de baja alcalinidad por acción del gas carbónico sobre los productos alcalinos de la hidratación del cemento y una región contigua no carbonatada y por consiguiente de alto pH.

Por frente de cloruros se entiende la posición de la interface entre una región contaminada por un cierto nivel de cloruros, suficiente para despasivar la varilla en aquella condición específica y una región contigua donde el nivel de cloruros todavía no alcanza el nivel suficiente para despasivar. Este contenido de cloruros varía en función de varios condicionantes entre el 0,05 y el 1% del peso del cemento.

El hecho de que el frente de carbonatación o un cierto nivel de cloruros hayan alcanzado la varilla y teóricamente la haya despasivado, no significa necesariamente que a partir de ese momento habrá corrosión importante. Ese período de tiempo, no obstante, es un período que debe ser tenido en cuenta al proyectar la estructura y de esta forma brindar seguridad al refuerzo de la armadura de la despasivación por carbonatación o cloruros

b) Un período de tiempo que va desde el momento en que aparecen manchas en la superficie del concreto, u ocurren fisuras en el concreto de recubrimiento, hasta cuando se presenta el desprendimiento del recubrimiento. A este período se asocia la vida útil de servicio o de utilización de la estructura. Este período es muy variable y depende de cada caso en especial, pues ocurre que, en ciertas construcciones, es inadmisibles que la estructura presente manchas de corrosión o fisuras. En otros casos sólo la caída de pedazos de concreto, que ponga en peligro la integridad de las personas, puede ser considerada como el momento a partir del cual se debe considerar cumplida la vida útil de servicio de la estructura.

c) Un período de tiempo que va hasta la ruptura o colapso parcial o total de la estructura. A este período de tiempo se asocia la llamada vida útil última o total. Corresponde al período de tiempo para el cual habrá una reducción significativa de secciones resistentes de la armadura o una pérdida importante de adherencia concreto-refuerzo, acarreado el colapso parcial o total de la estructura.

#### 1.4 CONCEPTO DE DURABILIDAD

La durabilidad no es un concepto absoluto que dependa sólo del diseño de mezcla, de la resistencia de compresión del concreto sino que está en función del ambiente y las condiciones de trabajo a las cuales lo sometamos.

En ese sentido, no existe un concreto “durable” por sí mismo, ya que las características físicas, químicas y resistentes que pudieran ser adecuadas para ciertas circunstancias, no necesariamente lo habilitan para seguir siendo “durable” bajo condiciones diferentes.

Tradicionalmente se asoció la durabilidad a las características resistentes del concreto, y particularmente a su resistencia en compresión, pero las experiencias prácticas y el avance de la investigación en este campo han demostrado que es sólo uno de los aspectos involucrados, pero no el único ni el suficiente para obtener un concreto durable.

En consecuencia, el problema de la durabilidad es sumamente complejo en la medida en que cada situación de exposición ambiental y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla, como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo, por lo que es usual que en este campo las generalizaciones resulten nefastas.

Bryant Mather, uno de los pioneros en la investigación en Tecnología del Concreto y en el área de la durabilidad indica en uno de sus trabajos: “Está demostrado científicamente que las estructuras de concreto se comportan inadecuadamente debido a que las especificaciones técnicas fueron deficientes o que éstas fueron correctas pero no se siguieron en la obra”.

Es evidente que debemos desterrar una práctica muy común en nuestro medio como es la de repetir, copiar o “adaptar” especificaciones técnicas locales aparentes, pero que sin embargo desde el punto de vista de la Tecnología del Concreto y la durabilidad requieren una evaluación y criterios particulares.

Quienes han tenido la oportunidad de laborar en las diferentes regiones de nuestro país, habrán podido comprobar la repetición sistemática de errores conceptuales y prácticas constructivas inadecuadas en lo que a tecnología del concreto y durabilidad se refiere, por el concepto equivocado de que el concreto es un material “noble” que puede asimilar nuestras deficiencias, y que es antieconómico trabajar con los avances de la técnica moderna.

En el desarrollo de este capítulo, analizaremos algunos conceptos básicos que permitan una mejor aproximación a estos problemas y la utilización más eficiente de nuestros recursos materiales y humanos.

## 1.5 LA DURABILIDAD EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO

Una estructura durable puede conseguirse si se considera todos los posibles factores de degradación y se actúa consecuentemente en cada una de las etapas del proyecto, ejecución y uso de la estructura. El incremento de la durabilidad debe tener en consideración que en una estructura puede haber diferentes elementos portantes sometidos a distintos tipos de ambientes, o diversas formas de ataques.

### 1.5.1 La durabilidad en la fase del proyecto

El proyecto de una estructura de concreto debe incluir las medidas necesarias para que la estructura alcance su vida útil estimada, de acuerdo con las condiciones de agresividad ambiental y con el tipo de estructura. Para ello se debe incluir una estrategia de durabilidad, incluyendo la agresividad a la que estará sometida la estructura, la cual se identificará por el tipo de ambiente.

En la memoria se incluirá la justificación de las clases de exposición consideradas para la estructura. Así mismo, en los planos se reflejará el tipo de

ambiente para el que se ha proyectado cada elemento. El proyecto deberá definir formas y detalles estructurales que faciliten la evacuación del agua y sean eficaces frente a los posibles mecanismos de degradación del concreto.

Los elementos de equipamiento, tales como apoyos, juntas, drenajes, etc. pueden tener una vida más corta que la de la propia estructura por lo que, en su caso, se estudiará la adopción de medidas de proyecto que faciliten el mantenimiento y sustitución de dichos elementos durante la fase de uso.

En la protección frente a los ataques químicos agresivos, las medidas preventivas suelen ser las más eficaces y menos costosas. Por ello, la durabilidad es una cualidad que debe tenerse en cuenta durante la realización del proyecto, estudiando la naturaleza e intensidad potencial previsible del medio agresivo y seleccionando las formas estructurales, los materiales, las dosificaciones y los procedimientos de puesta en obra más adecuados en cada caso.

La identificación del medio ambiente deberá tener en cuenta la existencia de un conjunto de factores que son capaces de modificar el grado de agresividad que, a priori, podría considerarse como característico de la zona geográfica en la que se encuentra la estructura. Así, localizaciones relativamente próximas pueden presentar distintas clases de exposición en función de la altitud topográfica, la orientación general de la estructura, la naturaleza de la superficie, la existencia de zonas urbanas, la proximidad a cursos de agua, etc.

#### 1.5.2 La durabilidad en la fase de ejecución

La buena calidad de la ejecución de la obra y especialmente del proceso de curado, tienen una influencia decisiva para conseguir una estructura durable. Por ello, las especificaciones relativas a la durabilidad deberán cumplirse en su totalidad durante la fase de ejecución. No debería permitirse compensar los efectos derivados del incumplimiento de algunas de ellas. La estrategia de durabilidad deberá incluir, al menos, los siguientes aspectos:

- Selección de formas estructurales adecuadas.
- Consecución de una calidad adecuada del concreto y en especial de su capa exterior.
- Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras.

- Control del valor máximo de abertura de fisuras.
- Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos.
- Adopción de medidas contra la corrosión de las armaduras.
- Disminución al máximo de la permeabilidad.

En el proyecto deberán definirse esquemas estructurales, formas geométricas y detalles, que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura, en función del entorno en que ella ha de estar ubicada. Se procurará evitar el empleo de diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua; y se tenderá a reducir al mínimo el contacto directo entre la superficie del concreto y el agua.

Se diseñarán los detalles del proyecto necesarios para facilitar la rápida evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje. En especial, se procurará evitar el paso del agua sobre las zonas de juntas y sellados. Igualmente, en la medida de lo posible, se evitará la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua; y se procurará limitar a un mínimo los poros capilares. Cuando la estructura presente secciones con aligeramientos u oquedades internas, se procurará disponer los sistemas necesarios para su ventilación y drenaje. Se deberá prever, en la medida de lo posible, el acceso a todos los elementos de la estructura, estudiando la conveniencia de disponer sistemas específicos que faciliten la inspección y el mantenimiento durante la fase de servicio.

Un principio básico para el logro de una estructura durable consiste en obtener, en la medida de lo posible, el máximo de aislamiento respecto al agua. La mayoría de los ataques que sufre el concreto están relacionados con ésta. Así, en algunos casos, provienen de sustancias disueltas que penetran a través del concreto, caso de los ataques químicos. En otras ocasiones, es la propia agua la que provoca el deterioro (mecanismos de hielo-deshielo). Finalmente, hay veces que si bien el agua no es la causa única o suficiente, si es un elemento necesario para que se desarrollen los procesos de degradación (corrosión).

## 1.6 COSTO DE LA DURABILIDAD

El ingeniero debe tener presente el concepto de durabilidad en todas las etapas del proyecto, elección de los materiales, proceso de puesta en obra, acabados y mantenimiento de una estructura de concreto. En el análisis de una obra no se puede ni se debe dejar de analizar el llamado costo de la durabilidad, el cual se puede asociar con un ahorro a largo plazo. La situación ideal, sería lograr un material que, con el menor costo posible, nos permita satisfacer las condiciones de servicio, durante toda la vida útil de la estructura.

Esta concepción teórica no siempre se cumple en la vida real. Basta ver las estructuras dañadas debido a la no aplicación del concepto de durabilidad. Lo fundamental para evitar estos problemas es tener una idea clara, de qué y para qué se está construyendo la obra que se nos ha encomendado. Este concepto es fundamental para predecir el funcionamiento de la estructura, durante toda su vida útil de servicio. Diferentes controles surgen de acuerdo a la ubicación de la estructura proyectada, así como también del tipo de materiales que se empleen para la elaboración del concreto.

Con referencia a la durabilidad del concreto respecto a la ubicación de la estructura, se debe tener en cuenta los posibles ataques en distintos ambientes, ataques químicos externos al concreto, problemas de fisuración y acciones físicas. Con respecto a los materiales empleados, hay que tener en cuenta las posibles reacciones deletéreas internas, la estructura de los poros y los mecanismos de transporte de fluidos dentro de la masa de concreto. Cada situación expuesta tiene su solución, la cual debe ser analizada desde la concepción de la estructura, ya que la aparición de los problemas genera costos (sea por falla estructural, pérdida de la capacidad de servicio, afeamiento externo, etc.) mucho más altos para su reparación, los cuales hubieran sido minimizados si se hubiesen analizado en el momento adecuado.

Es por ello necesario, y ello sería una primera y muy importante recomendación, el que las Normas Peruanas de Diseño Estructural, al lado de la resistencia, propiedad que no se discute, den igual importancia a la durabilidad, introduciéndola como elemento primario de evaluación para el cálculo de Estructuras de Concreto Armado.

## 1.7 FACTORES QUE REDUCEN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Como en todo problema complejo, es conveniente agrupar los fenómenos en áreas temáticas y procurar una clasificación que, aun pudiendo ser arbitraria, facilite el conocimiento de la cuestión.

Según el comité 221 del ACI la reducción de durabilidad del concreto se produce en las siguientes condiciones:

- Abrasión
- Pavimentos
- Erosión de estructuras hidráulicas
- Cavitación
- Agresión química Ataque de Sulfato
- Exposición al agua de mar
- Ataque de ácidos
- Carbonatación
- Corrosión de metales en el concreto
- Acción de los cloruros
- Carbonatación
- Helada y deshielo
- Agresión de la helada Sales de deshielo
- Reacción química del agregado
- Reacción álcali sílice
- Reacción álcali carbonato

Estas condiciones que indica el ACI, se pueden agrupar en 5 grupos:

- I. Congelamiento y descongelamiento
- II. Ambiente químicamente agresivo
- III. Abrasión
- IV. Corrosión de metales en el concreto
- V. Reacción químicas en los agregados

### 1.7.1 Congelamiento, deshielo y su mecanismo

En términos generales el fenómeno se caracteriza por inducir esfuerzos internos en el concreto, debido al congelamiento del agua que se encuentra en los poros capilares, los cuales pueden provocar una fisuración reiterada y la consiguiente desintegración del concreto.

### 1.7.2 Ambiente químicamente agresivo

El concreto en estado sólido por su composición es químicamente inalterable al ataque de agentes químicos que se hallan en estado sólido, pero para que pueda existir alguna probabilidad de agresión el agente químico debe estar en solución en una cierta concentración y además tener la opción de ingresar en la estructura de la pasta durante un tiempo considerable.

Los ambientes agresivos usuales están constituidos por aire, agua y suelos contaminados que entran en contacto con las estructuras de concreto.

A continuación los diferentes agentes químicos y su velocidad de ataque a temperatura ambiente se muestran en el Cuadro N°1.1

Cuadro N°1.1: Agentes químicos y su velocidad de ataque a temperatura ambiente

VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMP. AMBIENTE	ACIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS	SOLUCIONES ALCALINAS	SOLUCIONES SALINAS
Rápida	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	—	Cloruro de Aluminio
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de Sodio al 20 %	Nitrato de Amonio Sulfato de Amonio Sulfato de sodio Sulfato de Magnesio Sulfato de Calcio
Lenta	Carbónico	—	Hidróxido de Sodio 10 a 20 % Hipoclorito de Sodio	Cloruro de Amonio Cloruro de Magnesio Cloruro de Sodio
Insignificante	—	Oxálico Tartárico	Hidróxido de Sodio al 10 % Hidróxido de Amonio	Cloruro de Calcio Cloruro de Sodio Nitrato de Zinc Cromato de sodio

Fuente: ACI 221

En este horizonte, los compuestos que por su disponibilidad en el medio ambiente producen la mayoría de casos de ataque químico al concreto están constituidos por los cloruros y los sulfatos.

### 1.7.3 Cloruros

Los cloruros se hallan normalmente en el ambiente en las zonas cercanas al mar, en el agua marina, y en ciertos suelos y aguas contaminadas de manera natural o artificial.

Como se observa en el Cuadro N°1.1, los cloruros tienen una acción insignificante sobre el concreto desde el punto de vista de la agresión química directa, pero erradamente se les considera en muchas oportunidades causantes del deterioro que es producido por otros agentes. Los cloruros no tienen acción perjudicial directa sobre el concreto sino es a través de su participación en el mecanismo de la corrosión de metales embebidos en el concreto, produciéndose compuestos de hierro que al expandirse rompen la estructura de la pasta y agregados. El no entender a cabalidad este fenómeno lleva muchas veces a confusión pues con frecuencia se descartan materiales con cloruros para su empleo en concreto simple sin ser esto necesario.

### 1.7.4 Sulfatos

Los sulfatos se hallan usualmente en el suelo en contacto con el concreto, en solución en agua de lluvia, en aguas contaminadas por desechos industriales o por flujo en suelos agresivos.

En su mayoría consisten en sulfatos de Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio.

Los suelos con sulfatos se hallan normalmente en zonas áridas, y pese a que pueden no estar en muy alta concentración, si se producen ciclos de humedecimiento y secado sobre el concreto, la concentración puede incrementarse y causar deterioro.

El mecanismo de acción de los sulfatos considera dos tipos de reacción química

- a) Combinación del sulfato con Hidróxido de Calcio libre (Cal Hidratada) liberado durante la hidratación del cemento, formándose Sulfato de calcio (Yeso) de propiedades expansivas.
- b) Combinación de Yeso con Aluminato Cálcico Hidratado para formar Sulfoaluminato de Calcio (Etringita) también con características de

aumento de volumen. Algunos investigadores indican que existe un efecto puramente físico causado por la cristalización de las sales sulfatadas en los poros del concreto con aumento de volumen y deterioro.

En el Cuadro N° 1.2 se incluyen las recomendaciones que da el ACI con respecto al tipo de cemento a emplearse para diferentes grados de exposición a Sulfatos, siendo importante tener en cuenta que den interpretarse a la luz de las condiciones reales de ataque potencial para cada caso particular.

Cuadro N°1.2: Requisitos para concreto expuesto a soluciones con sulfatos

TIPO DE EXPOSICIÓN A LOS SULFATOS	SULFATOS SOLUBLES EN AGUA (SO <sub>4</sub> ) PRESENTES EN SUELOS (% EN PESO)	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) EN AGUA (p.p.m.)	TIPO DE CEMENTO RECOMENDADO	RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA (CONCRETO NORMAL)	f'c MÍNIMO (kg/cm <sup>2</sup> )
DESPRECIABLE	0 a 0.10	0 a 150	-	-	-
MODERADA	0.10 a 0.20	150 a 1500	II, IP (MS), IS (MS), I (PM)(MS), I (SM)(MS)	0.50	280
SEVERA	0.20 a 2.00	1500 a 10000	V	0.45	315
MUY SEVERA	Sobre 2.00	Sobre 10000	V + PUZOLANA	0.45	315

Fuente: ACI 318

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 anti técnico y antieconómico especificar cemento especial cuando se pueden tomar precauciones más baratas y eficientes.

### 1.7.5 Abrasión

La resistencia a la abrasión es la habilidad de una superficie de concreto a ser desgastada por roce y fricción. Este fenómeno se origina de varias maneras, siendo las más comunes las atribuidas a las condiciones de servicio, como son el tránsito de peatones y vehículos sobre veredas y losas, el efecto del viento cargado de partículas sólidas y el desgaste producido por el flujo continuo de agua. En la mayoría de casos el desgaste por abrasión no ocasiona mayores problemas pero indirectamente puede ocasionar el inicio del ataque de otro agente reductor de la durabilidad, como pueden ser la corrosión, agresión química u otro, siendo estos últimos los más perjudiciales para el concreto.

Se estima que la superficie aludida debe tener una resistencia en compresión mínima de 280 kg/cm<sup>2</sup> para garantizar una durabilidad permanente con respecto a la abrasión, lo cual indica que es necesario emplear relaciones Agua/Cemento bajas, el menor slump compatible con la colocación eficiente, agregados bien graduados y que cumplan con los límites ASTM C-33 para gradación y abrasión, así como la menor cantidad posible de aire atrapado en su interior.

Al margen de estas precauciones previas a la producción, está demostrado que un elemento fundamental en el resultado final lo constituye la mano de obra y la técnica de acabado. Cuando se procede a realizar el acabado sin permitir la exudación natural de la mezcla, la capa superficial se vuelve débil al concentrarse el agua exudada, incrementándose localmente la relación Agua/Cemento. Se considera que en condiciones normales, el acabado debe ejecutarse alrededor de dos horas luego de la colocación del concreto y habiéndose eliminado el agua superficial.

La cantidad de energía que pone el operario en el proceso de acabado tiene relación directa con el grado de compactación de la superficie habiéndose comprobado experimentalmente una gran diferencia cuando éste trabajo se ejecuta con acabadoras mecánicas (de uso no muy corriente en nuestro medio).

Es usual apreciar la costumbre generalizada de espolvorear cemento sobre la superficie húmeda con objeto de "secarla" y terminar antes con el acabado, lo cual constituye una práctica negativa si aún continúa la exudación, pues la capa de cemento actúa como una barrera impermeable reteniendo el agua y favoreciendo que disminuya localmente la relación Agua/Cemento.

Si este procedimiento se efectúa luego de la exudación y se integra el cemento o un mortero seco con el resto de la pasta, el efecto es muy beneficioso pues se consigue reducir localmente la relación Agua/Cemento e incrementar la resistencia, por lo que el concepto básico está en la oportunidad en que se hace esto y no en la acción misma.

Otra precaución muy importante está constituida por la técnica de curado pues de nada sirve tener materiales y un diseño de mezcla excelentes si luego no propiciamos las condiciones para que se desarrolle la resistencia, y que son temperatura y humedad adecuadas. El curado debe iniciarse inmediatamente después de concluido el acabado superficial siendo recomendable mantenerlo

no menos de 7 días cuando se emplea cemento Tipo I y un tiempo mayor si se emplean cementos de desarrollo lento de la resistencia.

Otras técnicas de curado como el secado al vacío son mucho más eficientes en cuanto a resultados, pero no constituyen soluciones que se puedan generalizar en nuestro medio por su costo, por lo que es necesario aplicar las técnicas convencionales como son el riego continuo o las “arroceras” que son alternativas simples y efectivas si se aplican bien y con continuidad.

### 1.8 Corrosión de metales en el concreto

El concreto posee una alta alcalinidad ( $\text{pH} > 12.5$ ), y una elevada resistividad eléctrica constituye uno de los medios ideales para proteger metales introducidos en su estructura, al representar una barrera protectora contra la corrosión. Pero si por circunstancias internas o externas se cambian estas condiciones de protección, se produce el proceso electroquímico de la corrosión generándose compuestos de óxidos de hierro que llegan a triplicar el volumen original del hierro, destruyendo el concreto al hincharse y generar esfuerzos internos.

#### 1.8.1 Mecanismo de la corrosión

En la Figura N°1.5 se describe el esquema típico general de la celda electroquímica, consistente en un ánodo de Hierro, un cátodo de otro metal que para nuestro caso también sería Fe, con iones en su medio ácido, un elemento que permita el flujo iónico del cátodo al ánodo, y una conexión entre ánodo y cátodo para canalizar el flujo de electrones.

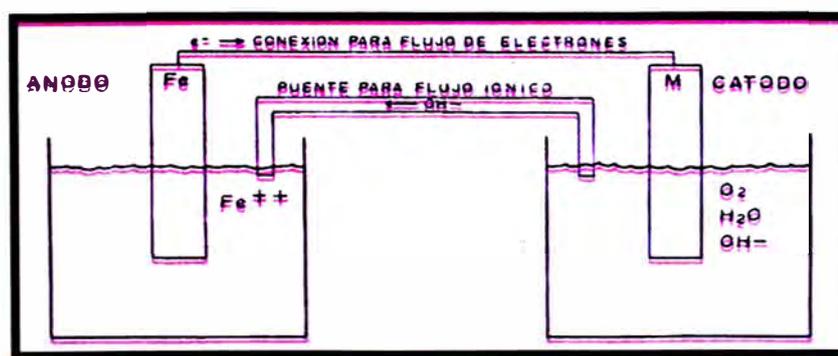


Figura N°1.5: Celda de corrosión electroquímica

En las Figuras N°1.6 y 1.7 se establece el esquema de la celda electroquímica en el caso del acero de refuerzo, y el mecanismo de acción en el concreto, permitiéndonos las siguientes conclusiones:

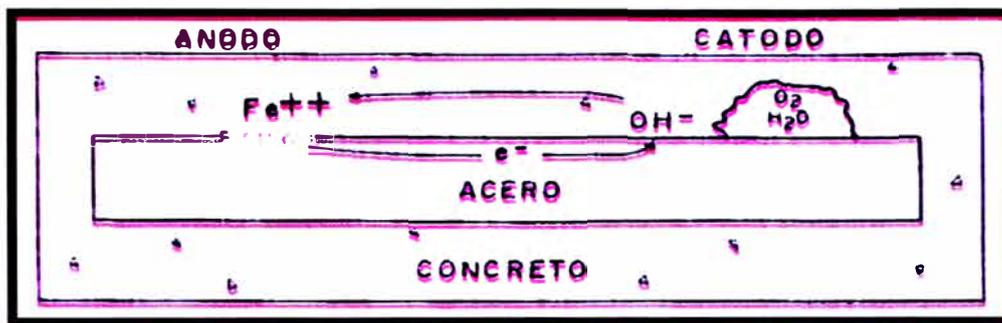


Figura N°1.6: Celda de corrosión en concreto reforzado

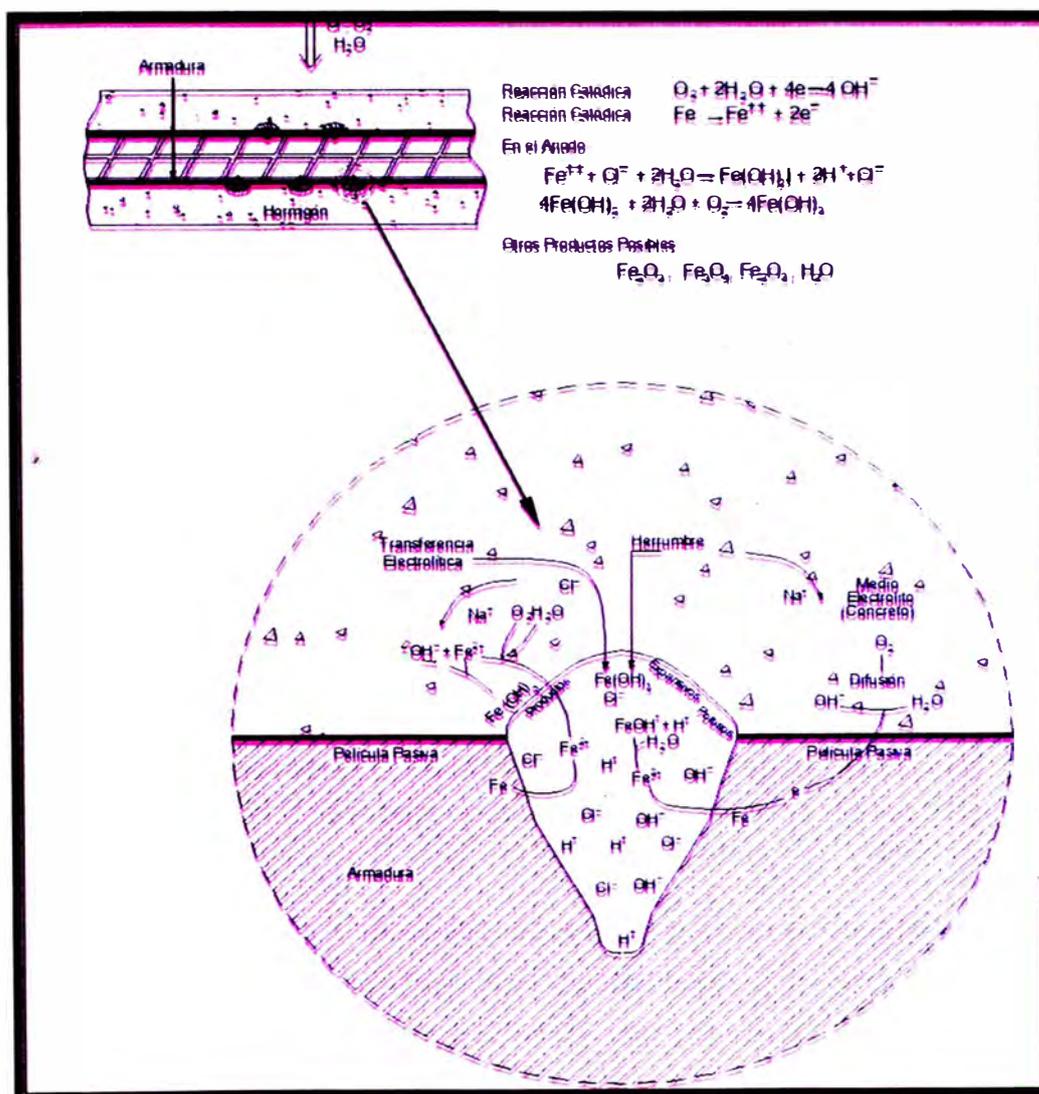


Figura N°1.7: Herrumbre en la barra de refuerzo ocupa más volumen que el acero resultado de presiones internas que producen fisuras en el concreto

- 1) El ánodo y cátodo están separados, pero dicha separación puede ser una micra o una distancia muy grande e igualmente se verifica el fenómeno,

por lo que en el acero de refuerzo se puede dar la corrosión por microceldas (Figura N° 1.8) o macroceldas (Figura N° 1.9)

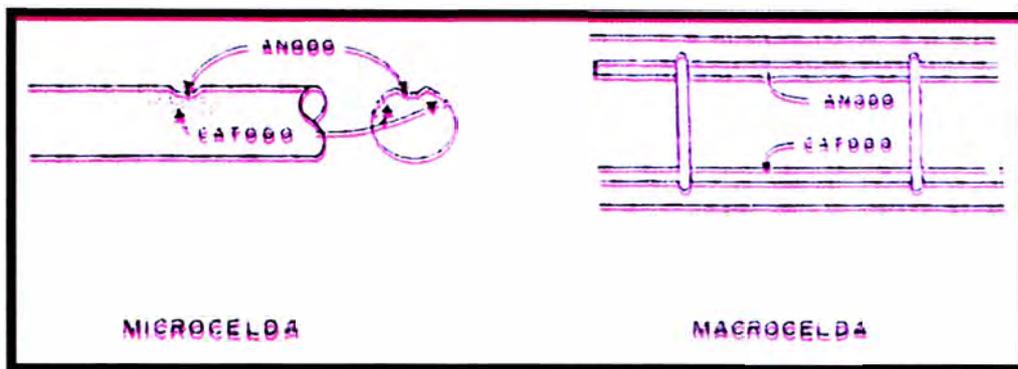


Figura N°1.8: Corrosión por microcelda y macrocelda

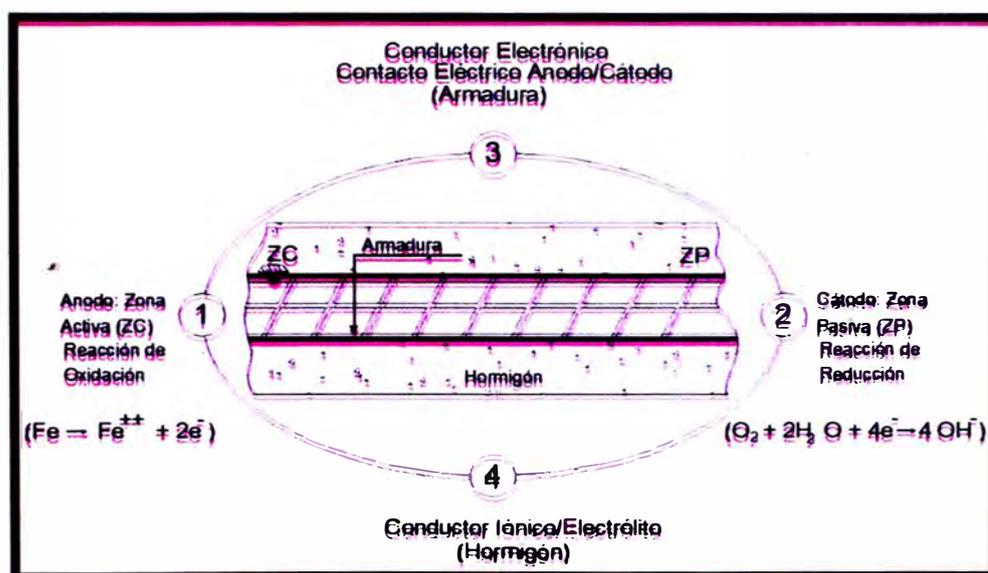


Figura N°1.9: Corrosión electroquímica del refuerzo en concreto expuesto a cloruros y humedad

- 2) El oxígeno no está involucrado en el lugar donde se produce la corrosión, que es exclusivamente el ánodo, sin embargo sí es imprescindible que en el cátodo haya oxígeno y agua para el proceso electroquímico.
- 3) Debe existir la suficiente concentración de iones para que se inicie el flujo electroquímico, lo que en la práctica se produce cuando ingresan cloruros en cantidad suficiente, se reduce la alcalinidad ( $\text{pH} > 8.0$ ) y se dan las condiciones de humedad en el cátodo.
- 4) El flujo se interrumpe y consecuentemente la corrosión, cuando se elimina el conductor metálico entre ánodo o evitando que haya oxígeno

en el cátodo o eliminando el agua entre ambos que es el medio de transporte de los iones.

En consecuencia, analizando el mecanismo es evidente que deben cumplirse varias condiciones para que se produzca la corrosión y en general solo casos especiales esto no ocurre con frecuencia.

Sólo si tenemos cloruros en una determinada concentración referida al peso del cemento estimada normalmente del orden del 0.2% existe la posibilidad de corrosión si a la vez se cumplen los otros requisitos.

Es importante aclarar que tanto el ACI como la norma E.060 y otras instituciones dan porcentajes menores o mayores dependiendo de si se trata de concreto pretensado o si las condiciones de exposición son muy severas, pero lo real es que no hay evidencia concluyente que permita establecer límites aplicable a todos los casos particulares, por lo que siempre es imprescindible analizar todos los parámetros involucrados para establecer el verdadero riesgo potencial.

Como referencia se establecen en los Cuadros N°1.3 y N°1.4 las recomendaciones del Reglamento ACI – 318 y del RNE (Norma E.060) con respecto al contenido máximo de cloruros en función del tipo de concreto y condición de exposición expresado en porcentaje referido al peso del cemento.

Cuadro N°1.3: Requisitos para concreto expuesto a soluciones con cloruros

TIPO DE ELEMENTO	CONTENIDO MÁXIMO DE ION CLORURO EN CONCRTO (% EN PESO DEL CEMENTO)
CONCRETO PRETENSADO	0.06
CONCRETO ARMADO EXPUESTO A CLORUROS	0.15
CONCRETO ARMADO PROTEGIDO DE LA HUMEDAD	1.00
OTRO TIPO DE CONCRETO	0.30

Fuente: ACI-318

La forma de aplicar estas limitaciones, consiste en primero determinar el contenido de cloruros de cada uno de los componentes mediante análisis químicos; luego en base a los pesos del agua, los agregados, los aditivos y el cemento en la mezcla, se calcula el aporte de cloruros de cada uno en peso y se suman constituyendo este valor el contenido total de cloruros del concreto.

Dividiendo esta cantidad entre el peso del cemento en el diseño y multiplicándolo por 100, obtenemos el porcentaje de cloruros referido al peso del cemento que se comparara con los valores del Cuadro N°1.3

Cuadro N°1.4: Contenido máximo del ion cloruro

Tipo de Elemento	Contenido máximo de ion cloruro soluble en agua en el concreto expresado como % en peso del cemento
Concreto pretensado	0.06
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros.	0.10
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).	0.15
Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad durante su vida por medio de recubrimientos impermeables.	0.80

Fuente: Norma Peruana E.060 (Concreto armado) –Tabla 4.4.4

En el Cuadro N°1.5 se detallan las recomendaciones de ACI-318 sobre las relaciones Agua/Cemento máximas y el  $f'c$  mínimo a aplicarse bajo condiciones especiales de exposición. Las recomendaciones dadas por Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma de concreto armado E.060, en el Cuadro N°1.6, no difieren mucho frente a las recomendaciones del ACI-318, pero establece valores específicos para cada tipo de exposición en nuestro país

Cuadro N°1.5: Relaciones agua/cemento máximas para condiciones especiales de exposición

CONDICION DE EXPOSICIÓN	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA (CONCRETO NORMAL)	$f'c$ MINIMO (CONCRETO NORMAL Y LIGERO) (kg/cm <sup>2</sup> )
CONCRETO CON BAJA PERMEABILIDAD AL AGUA	0.50	280
CONCRETO EXPUESTO A HIELO Y DESHIELO EN CONDICION HUMEDA	1.00	315
PARA PREVENIR CORROSIÓN EN CONCRETO EXPUESTO A SALES PARA DISOLVER HIELO	0.40	350

Fuente: ACI-318

Cuadro N°1.6: Condiciones especiales de exposición

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACION AGUA/CEMENTO MAXIMA
Concreto de baja permeabilidad:	
a)Expuesto a agua dulce	0.50
b)Expuesto a agua de mar o aguas salubres	0.45
c)Expuesto a la acción de aguas cloacales(*)	0.45
Concreto expuesto a procesos e 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 salubres o neblina o rocío de esta agua	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm	0.45

(\*) La resistencia  $f'c$  no deberá ser menor de 245 Kg/cm<sup>2</sup>, por razones de durabilidad.

Fuente: Norma Peruana E.060 (Concreto armado) –Tabla 4.4.2

### 1.8.2 Como combatir la corrosión

Los cloruros pueden estar dentro del concreto desde su colocación, si los agregados, el agua de mezcla o los aditivos ya los incluían, luego el primer paso consiste en evaluar los materiales del concreto para estimar si contribuirán a la corrosión, y de ser así existen alternativas en cuanto a cambiarlos por otros que no los contengan o en el caso de los agregados someterlos por otros que no los contengan o en el caso de los agregados someterlos a lavado para reducir su concentración.

La otra forma como se pueden introducir es entrando en solución por los poros capilares del concreto. Esto se verifica cuando el concreto está en exposición directa a agua con cloruros como es el caso de estructuras marinas o en el aire con alta humedad relativa, y en muchos casos se va depositando sobre el concreto por la humedad ambiental y el viento que arrastra partículas de suelo contaminado, introduciéndose la solución cuando llueve.

Como se apreciará, para que se produzca el ingreso es necesario que el concreto sea lo suficientemente permeable para que los cloruros lleguen hasta donde se encuentra el acero de refuerzo, por lo que se aplican las mismas recomendaciones que para la agresividad de los sulfatos, con la condición adicional de la importancia extrema del concreto de recubrimiento, que es la barrera principal para el ingreso. En los casos de ambientes agresivos con cloruros deben especificarse recubrimientos mayores de los normales y calidades de concreto que aseguren baja permeabilidad.

Se han desarrollado coberturas especiales para el acero con objeto de prevenir la corrosión bajo condiciones muy agresivas, pero en este aspecto es muy importante el establecer perfectamente las zonas catódicas de modo que con la cobertura se evite el oxígeno y el agua que son los requisitos para el fenómeno y por otro lado, nunca se puede garantizar del todo que el proceso constructivo ocasione que existan algunas zonas desprotegidas en el acero por donde se inicie el proceso.

### 1.8.3 Reacción sílice – álcalis

Se produce con algunos agregados del tipo ópalo, calcedonia, ciertas formas de cuarzo, andesita, dacita que reaccionan con los Hidratos de Calcio del cemento ocasionando compuestos expansivos.

Una de las dificultades para evaluar el riesgo consiste en que el desarrollo del fenómeno es lento, por lo que debe existir evidencia estadística de al menos cinco años para poder opinar sobre la habilidad práctica de algún agregado en particular sobre el que exista duda.

La reacción propicia el desarrollo de un gel expansivo en la interfase agregado – pasta, que rompe la estructura interna del concreto provocando fisuración y desintegración.

Es importante anotar que además de la reactividad potencial que pueden tener los agregados, deben darse otras condiciones para que se produzca la reacción, como son la calidad particular del agregado en cuestión, alto contenido de álcalis del cemento (superior al 6%, esta condición es poco probable ya que la norma técnica peruana 334.082 y 334.90, referida a los requisitos de los cementos, establece como valor máximo 6% de contenido de álcalis ) humedad relativa del orden del 80% y en el caso de climas cálidos con temperatura ambiente elevada la reacción se acelera. Sin embargo, se concluye que no es tan fácil que se conjuguen todos los factores a la vez, por lo que este tipo de reacciones no se da con mucha frecuencia.

### 1.8.4 Reacción carbonatos – álcalis

Se produce en algunas piedras calcáreas dolomíticas con un mecanismo aún no definido perfectamente, en el cual aparentemente difiere del anterior pues no se produce ataque a la sílice, siendo el patrón de fisuración similar.

Mediante el análisis petrográfico y rayos X es posible establecer en cierto modo el riesgo de reactividad pero se mantienen las mismas consideraciones que en el caso anterior.

## CAPÍTULO II: IDENTIFICACION

### 2.1 GENERALIDADES

#### 2.1.1 GEOGRAFIA Y CLIMA

Por estar Lambayeque situado en una zona tropical, cerca del ecuador, el clima debiera ser caluroso, húmedo, y lluvioso; sin embargo su estado sub-tropical, con fuertes vientos denominados ciclones. Periódicamente, cada 7, 10, 15, años se presentan temperaturas elevadas, con lluvias regulares y aumento extremado del agua de los ríos, lluvias de las que se tiene referencia desde épocas precolombinas.

La temperatura en verano fluctúa entre 20°C como mínimo y 30°C como máximo; cuando el clima se tropicaliza, cada ciertos años, la temperatura fluctúa entre 30°C -35°C. En invierno la temperatura mínima es de 15°C y máxima de 24°C. Por lo general a medida que se aleja de la orilla del mar avanzando hacia el este hasta los 500 m.s.n.m. la temperatura se va elevando, sintiéndose principalmente a medio día un calor sofocante, como se puede apreciar en Pucalá, Zaña, Chongoyape, Oyotún, Nueva Arica; este fenómeno se explica porque la tierra y los cerros áridos que rodean a estas zonas refractan el calor y porque los vientos que soplan del mar a la tierra llegan débiles.

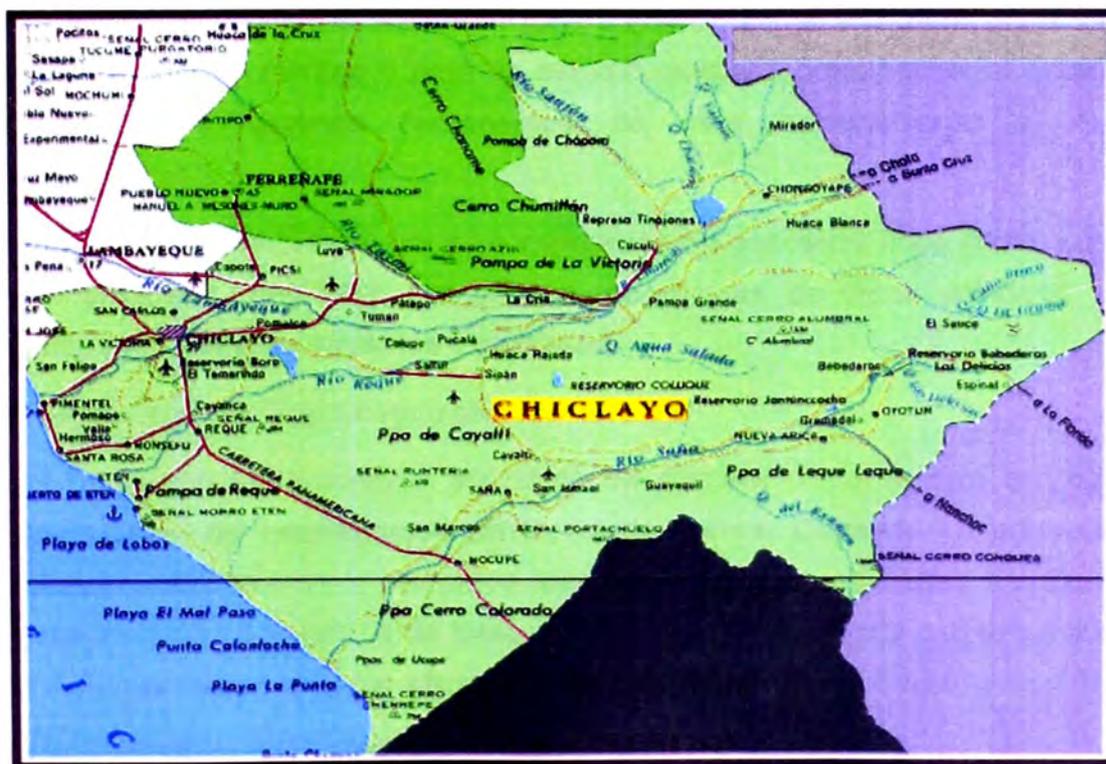


Figura N° 2.1: Ubicación y vías de acceso

Entre los factores que influyen en la determinación del clima departamental están; el mar, las corrientes peruanas del Niño, la atmósfera dominada por el anticiclón de Pacífico Sur, los vientos y las Cordillera de los Andes.

### 2.1.2 GEOLOGIA DEL LUGAR

El área en estudio, se encuentra situado muy cerca del borde litoral al norte del país. Está conformado por material cuaternario de arenas eólicas como cobertura y debajo arenas ligeramente limosas algo compactas con presencia de carbonatos.

Se observa elevaciones a modo de lomadas y pequeños cerros. Las elevaciones se deben fundamentalmente a la presencia de rocas de la Formación Goyllarisquizga (arenisca y cuarcita) quienes se encuentran bastante fracturadas e intemperizadas. En las partes bajas o depresiones se tiene esencialmente arena fina de color gris de origen eólico como cobertura con muy poca o casi nada presencia de gravas y debajo de estas.

### 2.1.3 LITOESTRATIGRAFIA

La estratigrafía en general, se enmarca en la faja costanera que está conformada por extensas pampas de material cuaternario y de algunos cerros o cadenas de cerros que sobresalen a los terrenos adyacentes.

Para el presente informe solo mencionaremos la unidad lito-estratigráfica local donde se ubica el terreno o área de estudio, que son principalmente depósitos cuaternarios y algunos remanentes de roca perteneciente al Grupo Goyllarisquizga.

Los suelos se caracterizan por su composición en depósitos finos sedimentados y compresibles, formados por arcillas inorgánicas de limos plásticos y no plásticos, en estratos variables y paralelos.

#### a) Formación Goyllarisquizga

Esta formación se encuentra aflorando de manera dispersa casi en todo el departamento de Lambayeque en forma de cerros. Consiste en areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris, marrón y rosada. La estratificación es común en la mayoría de los afloramientos.

#### b) Depósitos Aluviales, fluviales y marinos

Los depósitos aluviales, fluviales y marinos, constituidos por cantos rodados, gravas, arena gruesa y arena fina con relleno arcilloso y limos, se presentan en los cauces de los ríos permanentes y temporales, riachuelos, arroyos y en el litoral marino, así como las Pampas de Reque.

### c) Depósitos Eólicos

Se trata de depósitos constituidos por materiales transportados por los vientos que transcurren a lo largo de la faja costanera muy cerca al borde litoral consistentes en arenas de grano fino a medio, que a su vez desarrollan geoformas típicas en algunos casos, como las dunas en superficie. En el área de estudio no se observa con claridad las dunas debido probablemente al cambio de dirección variable del viento; estas son de la edad del cuaternario reciente

## 2.2 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

En mayo del 2010 la Empresa RUMI Ingenieros Geotécnicos S.A.C realizo la toma de muestras y la ejecución de los ensayos de campo con el fin de poder evaluar las condiciones geotécnicas y geológicas del suelo correspondiente a la Ampliación de la Subestación Chiclayo Oeste 220/60KV. Se realizaron 04 excavaciones manuales (calicatas) identificadas como C-1, C-2, C-3, C-P-1, las profundidades y ensayos realizados se indican en el siguiente Cuadro N°2.1

Cuadro N°2.1: Resumen de excavaciones

Calicatas	Profundidad alcanzada (m)	Nivel Freático	Ensayos Realizados
C-1	0.4	N.A	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ
C-2	4.00	N.A	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ
C-3	4.00	N.A	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ y Permeabilidad
C-P-1	1.5	N.A	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ y Permeabilidad

Fuente: Informe Técnico SE CHICLAYO OESTE, RUMI Ingenieros Geotécnicos

Asimismo el perfil estratigráfico de los depósitos de suelos arrojo las siguientes características.

Inicialmente nos encontramos con material de relleno conformado por desmonte hasta 1.10m, subyaciendo a esta capa encontramos arena arcillosa, medianamente densa, ligeramente plástica, ligeramente húmeda de color beige a gris intercalado con arena limosa, no plástica, medianamente densa, ligeramente húmeda, con cierto contenido de grava, hasta los 4.00m. Siendo

más pronunciada en la presencia de grava en la calicata C-2, con limo y arena, hasta los 4,00 m, a partir de la cual ya podemos encontrar la roca bastante triturada pasando a ser suelo. Aunque en la profundidad a la que encontramos la roca es variable ya que en lugares cercanos la encontramos aflorando en superficie. En la calicata C- 1 se ha encontrado arena arcillosa hasta los 0.40 cm y subyacente a esta capa se tuvo contacto con roca fracturada, obteniéndose de la parte superficial de ésta, la clasificación de grava arcillosa con arena.

### 2.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS

Con la finalidad de estimar el grado de agresividad del suelo hacia las estructuras de concreto y acero proyectadas, se realizaron los ensayos químicos consistente en la determinación en partes por millón de Sales Solubles Totales, Cloruros y Sulfato presentes en las calicatas C-1, C-2 y C-3.

En base a los resultados del análisis químico de las muestras (Cuadro N°2.2) y de acuerdo al Cuadro N°2.3 “Límites Permisibles” en que se presentan las cantidades en partes por millón (p.p.m) de sulfatos, cloruros y sales solubles totales, así como el grado de alteración y las observaciones del ataque a las armaduras y al concreto, se da las recomendaciones necesarias para la protección de la cimentación del ataque químico de las muestras analizadas.

Cuadro N°2.2: Resumen de los resultados de los ensayos químicos

Ubicación	Profundidad (m)	Sales Solubles Totales (p.p.m)	Cloruros (p.p.m)	Sulfatos (p.p.m)	P.H
C-1	0.4-1.00	31230.00	7663.6	2585.89	7.62
C-2	0.5-1.90	22200.30	6252.40	1085.54	7.81
C-3	1.1-2.20	33930.00	9447.20	1620.04	7.60

Fuente: Informe Técnico SE CHICLAYO OESTE, RUMI Ingenieros Geotécnicos

Con respecto a la cantidad en p.p.m de **sulfatos**, existen tolerancias permisibles que se encuentran en el Reglamento Nacional de Edificaciones, los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio indican grado de alteración considerado de **MODERADO a SEVERO**, por lo que se recomienda usar Cemento tipo V.

Los **cloruros** producen corrosión a estructuras metálicas, al refuerzo de acero del concreto, etc. Con respecto a la cantidad en p.p.m de cloruros en las muestras de suelo analizados, los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio indican que se encuentran como **PERJUDICIALES**, por lo que es necesario proteger la estructura, colocando una protección (recubrimiento) al

acero a colocarse. Además se recomienda que en la mezcla agua cemento se baje la proporción de agua cemento.

Cuadro N°2.3: Límites permisibles de sulfatos y cloruros

Presencia en el Suelo de:	P.P.M	Grado de Alteración	Observaciones
*Sulfatos	0-1000 1000-2000 2000-20000 >20000	Leve Moderado Severo Muy Severo	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
Cloruros	>6000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos
Sales Solubles Totales	>15000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación

Fuente:Comité ACI 318-83

Con respecto a las **sales solubles totales**, los valores obtenidos de los ensayos químicos en las muestras indican fuera de los límites permisibles es decir **PERJUDICIAL**; por lo que es necesario tomar las medidas necesarias para evitar la pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación. Se recomienda un buen sistema de drenaje, de modo que impida que el agua lave los finos, ocasionando la pérdida de resistencia del suelo.

## 2.4 ENSAYOS Y TECNICAS PARA EVALUAR LA CORROSION EN EL REFUERZO

Aumentar la durabilidad de las estructuras ha sido desde la época de los 80's una de las líneas de investigación que más se ha trabajado en el campo de los materiales de construcción. La necesidad de valorar el ingreso de los cloruros en la matriz cementicia del concreto ha permitido el desarrollo de ensayos normalizados por Instituciones de reconocido prestigio internacional. A continuación se presenta el más usado de estos métodos.

### 2.4.1 Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro ASTM C1202 (RCPT)

Este ensayo esta normalizado por la ASTM 1202 y la AASHTO T277. Consiste en valorar la habilidad del concreto para resistir la penetración de los cloruros mediante una indicación eléctrica. El ensayo consiste en preparar una probeta de concreto, con un espesor de 50 mm y un diámetro de 100 mm la que se somete a un voltaje de 60 V de corriente directa durante seis horas, usando un montaje como el de la figura N° 2.2 La probeta de concreto se coloca entre dos

reservorios, el primero contiene una solución de cloruro de sodio NaCl al tres por ciento (3%) y el segundo contiene una solución de hidróxido de sodio de 0.3M. La carga total que es transmitida por este sistema es determinada y es usada para valorar la permeabilidad del concreto.

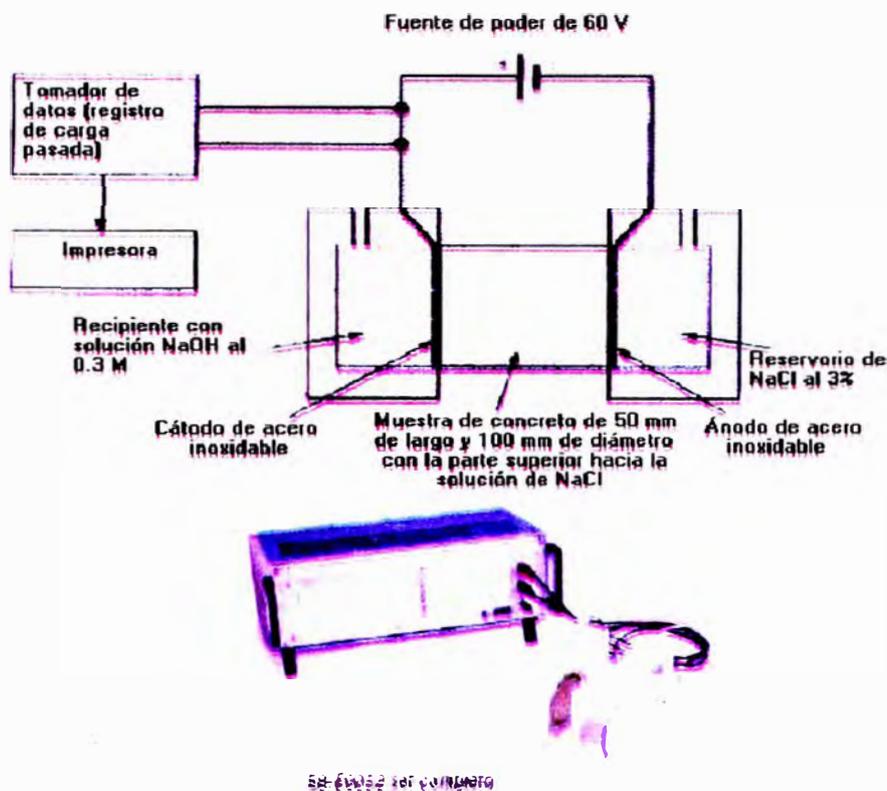


Figura N° 2.2: Dispositivo para el ensayo ASTM 1202

Este ensayo fue desarrollado por Whiting en 1981 y se conoce normalmente como “Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro”, aunque realmente no se mide a permeabilidad sino el intercambio iónico.

#### 2.4.2 Clasificación RCPT (según ASTM C1202)

Al aplicar una excitación eléctrica al sistema no solamente hay transporte de los iones cloruro sino que también existe movimiento de los demás iones presentes dentro de los poros y capilares del concreto. Existen una serie de críticas al ensayo, entre las cuales se pueden resumir las siguientes:

- La corriente transmitida está relacionada con todos los iones presentes en la solución de poros y no solo con los iones cloruro.
- Las medidas en su gran mayoría son realizadas antes que un estado constante de migración sea alcanzado.

- El alto voltaje aplicado lleva a un incremento en la temperatura, especialmente para concretos de baja calidad que más adelante incrementan la carga pasada. Los concretos de más baja calidad se calientan más a medida que la temperatura sube y es producto de la corriente y el voltaje.
- Entre más baja la calidad del concreto, mayor es la corriente a un voltaje dado y por lo tanto mayor es la energía producida, los valores de cargas se presentan en el Cuadro N°2.4

Cuadro N°2.4: Permeabilidad del concreto al ion cloruro

<b>Carga Transmitidas (coulombs)</b>	<b>Permeabilidad al ion cloruro</b>
>4000	Alto
2000-4000	Moderado
1000-2000	Bajo
100-1000	Muy Bajo
<100	Insignificante

Fuente: D. Whiting "Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro" 1981

### 2.4.3 Medidas de potencial de media celda

Las medidas de potencial informan sobre la probabilidad de corrosión de la armadura de una estructura de concreto. Una guía referencial de las condiciones y riesgo asociadas a valores de potencial tomados mediante un electrodo de cobre sulfato de cobre Cu/CUSO4 son: potenciales menos negativos de -200 mV ofrecen un 90% de probabilidad de que no existe corrosión activa, potenciales más negativos de -350 mV indican una probabilidad del 90% de que se están presentando en el refuerzo fenómenos de corrosión, y potenciales entre -200 y -350 mV indican que los procesos de corrosión son inciertos.

La manera más simple de evaluar la severidad de la corrosión en el acero es medir el potencial de corrosión. Figura N° 2.3., ilustra los elementos esenciales para tal medida. El electrodo de referencia se conecta al punto positivo del voltímetro y el acero de refuerzo al negativo.



Figura N° 2.3: Electrodo, voltmetro y probeta para la toma de potenciales

La valoración de los potenciales se ha vuelto más complicada debido a los adelantos tecnológicos en el concreto y las tecnologías de la reparación, como las cubiertas de material densas y los selladores de concreto, así como también los inhibidores de corrosión, las mezclas químicas, y los sistemas de protecciones catódicas. Es importante entender y considerar que estos factores han complicado los estudios de potencial de media-celda y por tanto estos se deben complementar con otros estudios no destructivos.

## 2.5 ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE CONCRETO DE LAS ARMADURAS

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 (ACI), donde se especifican los espesores adecuados de acuerdo a la agresividad ambiental.

Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea al 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.

## 2.6 MEDIDAS DE MEJORAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA LA CORROSIÓN

Se puede mejorar las condiciones de permeabilidad, y por ende la durabilidad, siguiendo las siguientes MEDIDAS:

- Utilizar relaciones a/c lo más bajas posibles, compatibles con una adecuada trabajabilidad del concreto.
- Someter el concreto a un buen curado de manera que la hidratación continua del cemento haga que el tamaño de los vacíos se reduzca. El concreto curado sin interrupción es menos permeable, no sólo por la no presencia de fisuras, sino también porque al evitar la evaporación temprana del agua de exudación, se previene la formación de redes capilares que permitan la libre circulación de agua y por ende de las sustancias agresivas tales como los sulfatos y las soluciones ácidas.
- Dosificar la óptima cantidad de agua de mezclado.
- Usar cemento con alto grado de finura.
- Emplear agregados bien gradados, de tal forma que se obtengan concretos más densos y por lo tanto menos porosos.
- Adicionar aditivos tales como las puzolanas, inclusores de aire, y como es obvio, aditivos para reducir la permeabilidad.
- Efectuar tratamientos de superficie, especialmente cuando el concreto está sujeto a la presión del agua.

## CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE COBERTURA

### 3.1 DEFINICION Y CLASIFICACION DE COBERTURAS

Los materiales que se emplean como tratamientos superficiales para el concreto se pueden clasificar, según cómo actúan.

- Como aquellos que penetran en la superficie del mismo y llenan los poros.
- Los que forman capas superficiales.

Los materiales que penetran pueden ser inertes que sencillamente llenan los poros, o bien, pueden reaccionar con los componentes que se encuentran en la superficie del concreto para formar compuestos de mayor volumen y con mayor capacidad para llenar los poros. Estos materiales también se usan como endurecedores para evitar la formación de polvo y la desintegración de la superficie.

Existen materiales para casi cualquier grado de protección requerida en el concreto. El mejor material que se use en un caso dado dependerá de muchos factores, ya que pueden existir varios tratamientos para un mismo caso, pero se deberá aplicar el más adecuado a las circunstancias de aplicación, uso posterior de la estructura, etc.

Entre los agentes superficiales más eficaces se encontraron morteros de cemento Pórtland aplicados y curados en forma adecuada, emulsiones de asfalto, destilados pesados del petróleo disueltos en solventes volátiles, algunos tipos de selladores de silano y acrílico y recubrimientos transparentes de aceite de linaza o de palo. A continuación se dan las descripciones correspondientes a cada tratamiento.

- a) Fluosilicato de magnesio o fluosilicato de zinc
- b) Silicato de sodio (comúnmente llamado "vidrio líquido")
- c) Aceites secantes: Se puede usar aceite de linaza, hervido o en bruto, pero el hervido se seca con mayor rapidez.

d) Cumarona: La cumarona es una resina sintética soluble en xilol y solventes hidrocarburos semejantes.

e) Barnices y coberturas: Se puede aplicar cualquier barniz al concreto seco.

f) Coberturas bituminosas o de alquitrán de hulla, alquitrán y breas.

g) Esmalte bituminoso: Esta es una protección adecuada contra ácidos relativamente fuertes.

h) Mástique bituminoso: Este se usa principalmente para pisos en vista del espesor de la capa que debe aplicarse, pero algunos mástiques pueden aplicarse sobre superficies verticales.

i) Ladrillo o azulejo vidriados: Estos son productos especiales de arcilla horneada que poseen alta resistencia al ataque por ácidos o álcalis. Por supuesto, deben colocarse en mortero que también tenga resistencia a la sustancia a la que van a quedar expuestos.

Suele colocarse una membrana impermeable y un lecho de mortero entre el ladrillo o azulejo y el concreto.

j) Vidrio: Puede pegarse al concreto.

k) Plomo: Puede pegarse al concreto con una cobertura asfáltica.

l) Láminas de resina sintética, caucho y caucho sintético: Resistentes a muchos ácidos, álcalis y otras sustancias. Estas láminas se pegan al concreto con adhesivos especiales.

### 3.2 ANALISIS PARA LA ADOPCION DE LA COBERTURA ASFALTICA COMO SISTEMA DE PROTECCION DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

En la actualidad existen diversos sistemas de protección de la durabilidad del concreto, presentamos algunas con sus respectivas ventajas e inconvenientes, Cuadro N°3.1, para luego adoptar la más apropiada para las estructuras enterradas (cimentaciones de equipos).

Cuadro N°3.1: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de protección

SISTEMAS DE PROTECCION	Presentación del producto	Dosificación	Origen de fabricación	Demora del pedido	Acción	Duración de la protección	Aplicación en	Categoría del personal a aplicar	Costo	Mantenimiento
<b>Concretos modificados (micro silice, cenizas volantes, escorias) (Aditivos)</b>	Sacos de 25 kg de polvo	Entre 5% y 25% del peso de cemento	China	10 días	Impermeabilizante	Permanente	En todo concreto a vacear	Técnico	Alto (por m3)	Cada 05 años
<b>Protección anódica y catódica</b>	Barras de sacrificio de 60 cm y conectores	Una por cada estructura	China	10 días	Anticorrosiva	3 años	En todas las estructuras	Técnico	Alto	Cada (01) año
<b>Inhibidores de Corrosión (Aditivos)</b>	Cilindros de 250 Litros	Entre 20L a 35L por m3 de concreto	China	10 días	Anticorrosiva	4 años	En todo concreto a vacear	Técnico	Alto (por m3)	Cada 05 años
<b>Repelentes al agua (hidrófugos) (Aditivos)</b>	Sacos de 25 kg de polvo	Entre 1% y 5% del peso de cemento	Perú	1 día	Impermeabilizante	4 años	En todo concreto a vacear	Técnico	Medio	Cada 05 años
<b>Barras de acero recubiertas con resinas epoxicas</b>	Barras de refuerzo de 9m	Según planos	Perú	4 días	Anticorrosiva	15 años	En todas las estructuras	Personal de obra	Alto	Cada 05 años
<b>Selladores de Concreto</b>	Envase de 5 galones	Entre 20 a 25 m2 por galón	Perú	1 día	Impermeabilizante	3 años	En todas las estructuras	Personal de obra	Medio	Cada 02 años
<b>Cobertura asfáltica (Z BITUMEN DENSO)</b>	Cilindros de 55 galones	Entre 6 a 8 m2 por galón	Perú	1 día	Impermeabilizante	10 años(en estructuras enterradas)	En todas las estructuras	Personal de obra	Bajo	Cada 07 años

Fuente: Fichas técnicas de los productos e información de proveedores de Lima

En la SE CHICLAYO OESTE 220KV se encontró que algunas de las estructuras, con una vida útil entre 10 a 15 años, anteriores a la “AMPLIACION 06 PIURA OESTE-CHICLAYO OESTE 220 KV”, presentaban deterioro que comprometía al concreto y al refuerzo de las estructuras (Figura N° 3.1), dichas estructuras se encontraban en contacto directo con el suelo.



Figura N° 3.1: Pórtico deteriorado

Teniendo como precedente el deterioro de las estructuras existentes y el estudio de suelos, el proyectista recomendó (Figura N° 3.2), que era necesario proteger a la estructura mediante un recubrimiento que impermeabilice su superficie. Los resultados de la impermeabilización y su degradación se podrán conocer a plenitud luego de 5 años (mantenimiento) de su colocación, ya que al cierre de la obra cumplía su función de impermeabilizar las estructuras

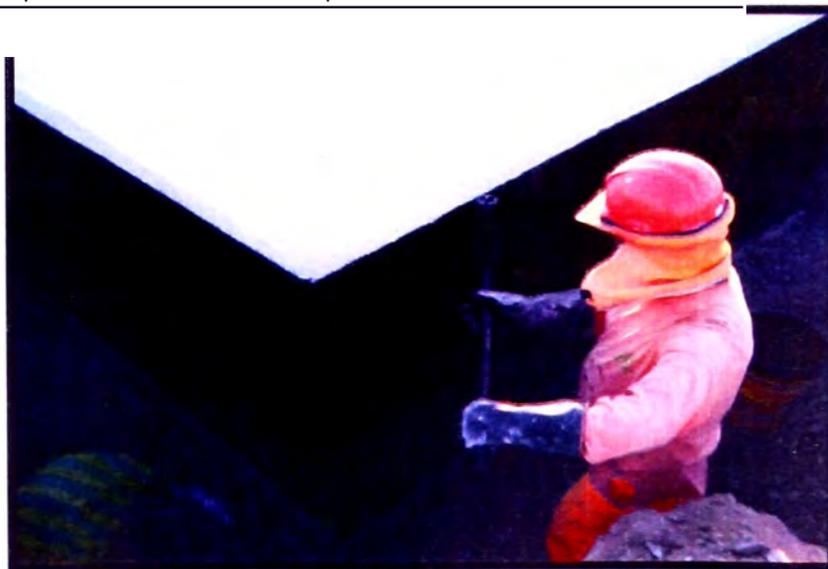


Figura N° 3.2: Pórtico protegido con cobertura asfáltica

Se eligió la cobertura asfáltica (Z BITUMEN DENSO) como sistema de protección de la durabilidad del concreto por su capacidad de impermeabilizar las estructuras, su facilidad de aplicación, presencia en el mercado nacional, su periodo largo de mantenimiento y su bajo costo.

### 3.3 COMPONENTES DE LA COBERTURA ASFÁLTICA

El esmalte bituminoso, Z BITUMEN DENSO, de Z ADITIVOS es una solución densa compuesta de resinas bituminosas y sintéticas que cumple con las normas ASTM D449 Tipo 1, ASTM D 92, AASHTO M190 T44, T47, T49, MTC 622-11-(D). El rendimiento por galón de Z BITUMEN DENSO, es de 8 m<sup>2</sup> y se aplicó mediante rodillo. Posterior a la aplicación del esmalte en la superficie, esta no presentara grietas o fisuras debido a que en su composición se encuentran presentes elementos elastomericos y adhesivos

Las coberturas bituminosas se aplican en espesores mayores que las coberturas que forman laminas superficiales. Los productos diluidos se aplican a brocha o por aspersión en una o más capas, según el grado de impermeabilidad deseado. Usualmente conviene aplicar dos capas, por la sola razón de que la segunda tiende a anular las imperfecciones de la primera. Si el material es demasiado viscoso, debe ser diluido para la aplicación de la primera capa, para lograr una penetración más efectiva, y una mejor adherencia. Cada capa debe aplicarse lo más espesa posible, sin llegar a producir excesivas chorreaduras. Puede preverse un poder cubriente comprendido entre 6 m<sup>2</sup> y 8 m<sup>2</sup> por galon y por capa.



Figura N° 3.3: Vista de la cobertura aplicada en los pedestales

### 3.4 PREPARACIÓN DEL CONCRETO PREVIO A LA APLICACIÓN DE LA COBERTURA ASFALTICA

Cuando fallan los recubrimientos aplicados a superficies de concreto, la causa generalmente es la preparación inadecuada de la superficie. Para que un recubrimiento pueda adherirse apropiadamente, la superficie de concreto debe estar sana, limpia, libre de algún defecto superficial y seco. Salvo contadas excepciones, las coberturas, incluidas las de películas transparentes, se comportará mejor si al momento de la aplicación la superficie del concreto se encuentra limpio y seco. Cuando es reciente, el concreto se encuentra húmedo en su interior, aunque aparezca seca su superficie, y esta humedad encerrada puede posteriormente ampollar y descarnar la capa de la cobertura. Por otra parte, el concreto nuevo posee un elevado grado de alcalinidad, lo que es particularmente nocivo para coberturas que contienen aceites secantes, debido a que son muy susceptibles de saponificar.

La solución, se cepilla o pulveriza sobre la superficie y se deja secar 24 horas, pasando el cepillo antes de aplicar el recubrimiento para eliminar de esta forma los residuos formados en la reacción.

Con el transcurso del tiempo la alcalinidad superficial del concreto se reduce por carbonatación. Además, decrece la humedad libre excepto naturalmente cuando el concreto está expuesto al agua. Se recomienda que el concreto tenga por lo menos 6 meses antes de aplicarle coberturas que contengan aceites secantes, y por lo menos 2 meses cuando se trata de coberturas resistentes a los álcalis. Generalmente no es necesario ni estacionar al concreto ni tratarlo cuando se apliquen coberturas bituminosas a superficies de concreto contra las que luego se efectúe un relleno.

Dichas coberturas son resistentes a los álcalis y dado que tanto el agua como el relleno ejercerán presión contra la superficie recubierta, existe muy poco peligro de ampollarlo.

Esto puede ocurrir, sin embargo, si la película se aplica mientras el concreto aún se encuentra húmedo y si luego la superficie tratada se expone a la luz directa del sol. Si esta exposición es inevitable, la aplicación de una lechada de cal reduce a un mínimo el ampollado, hasta tanto se ejecute el relleno o se proteja la superficie pintada de otra manera.

En cualquier caso, para obtener una buena adherencia de las coberturas bituminosas aplicadas a temperatura ambiente o en caliente, es necesario que la superficie del concreto se encuentre seca. Si no está apropiadamente preparada, es posible que el recubrimiento se separe del concreto, desperdiciando tanto tiempo como dinero

#### 3.4.1 Preparación de la superficie

No puede esperarse una buena adherencia de la cobertura con el concreto, si existen en la superficie sustancias que interfieran. Por ello, cualquier suciedad – polvo, grasa, aceite o eflorescencia – debe removerse antes de su aplicación. La suciedad y el polvo pueden quitarse por medio de un chorro de aire, cepillando, rociando, según sea el carácter y grado de suciedad. Para la limpieza con aire utilizando un soplete, emplee una corriente de aire comprimido de 80 a 100 libras entregadas a través de una boquilla que se mantenga a aproximadamente a 30 cm de la superficie. Para superficies extremadamente sucias puede resultar conveniente la limpieza por enarenado. Las eflorescencias pueden eliminarse lavando con ácido clorhídrico diluido (1:4) o mediante chorro de arena. Los tratamientos con ácidos deben ser seguidos por un enjuague total de la superficie.

Las eflorescencias son el resultado de la acumulación de sales por el agua que fluye del interior del concreto y evapora en la superficie. Si el agua continúa penetrando en el concreto, probablemente se formarán nuevas eflorescencias, rompiendo la película de cobertura. Por ello, al quitar las eflorescencias debe considerarse esta posibilidad, eliminando la causa de la humedad, de ser posible.

En algunos casos, cuando se trata de bloques de concreto u otras superficies rugosas, se prefiere alisar la superficie o rellenar las pequeñas oquedades y fisuras del concreto antes de aplicar la cobertura. Para tal objeto, se recomienda efectuar un sellado con una lechada de cemento y arena fina, en proporción 1:1.

Primeramente deberá humedecerse la superficie, aplicando la lechada mediante una brocha de cerdas duras. Para cubrir grietas y agujeros mayores, debe usarse mortero de cemento y arena de proporciones 1:2 ó 1:3.

Deben eliminarse las partes sueltas o defectuosas del concreto y la suciedad, humedeciendo la zona antes de aplicar el mortero. Ese deberá ser plástico, pero

no más fluido de lo necesario, y compactarse firmemente. Una vez endurecida la lechada o mortero, deberá curarse durante 1 a 2 días regando frecuentemente con agua o cubriendo con una lona mojada. A igual que para el concreto nuevo, deberá posponerse la aplicación de la cobertura, hasta que el solaqueo haya secado.



Figura N° 3.4: Limpieza y aplicación de lechosidad de cemento

Estos métodos no tienen la intención de alterar el perfil de la superficie; únicamente la de limpiarla.

#### 3.4.2 Preparación de la cobertura a aplicar

Inmediatamente antes de su aplicación, el esmalte bituminoso debe mezclarse y agitarse a fondo, con el objeto de proveer una distribución uniforme del pigmento en el vehículo. El mezclado a mano debe realizarse mediante una espátula ancha. Es posible obtener en las ferreterías agitadores y mezcladores mecánicos, los que reducen considerablemente el trabajo y acortan el tiempo necesario para un mezclado completo.

La mayoría de los envases de esmalte bituminoso están llenos casi hasta arriba y es difícil mezclar la cobertura sin salpicar. Por esta razón conviene verter parte de la cobertura en un recipiente aparte, limpio, remover enérgicamente el resto

mezclando luego ambas partes y agitar suavemente. Algunos especialistas prefieren terminar el mezclado, transvasando esmalte bituminoso entre los dos recipientes. Usando un agitador el esmalte bituminoso se mezcla completamente en su envase original.

Toda dilución de la cobertura debe realizarse únicamente siguiendo las instrucciones del fabricante y empleando el disolvente recomendado.

Generalmente, las instrucciones para ello figuran en la etiqueta del envase. La dilución indiscriminada constituye un riesgo permanente para el éxito de la cobertura. Entre los errores que comúnmente se cometen al diluir coberturas, se incluye el uso de trementina y aguarrás mineral con coberturas a base de lacas y disolventes orgánicos de cualquier tipo con coberturas al agua.

Para la aplicación de materiales bituminosos sólidos, es natural que deban fundirse y calentarse previamente. Los fabricantes suministran información completa para tales preparaciones.

### 3.5 APLICACIÓN DE LA COBERTURA ASFÁLTICA EN ESTRUCTURAS ENTERRADAS

Se utilizó el esmalte bituminoso, Z BITUMEN DENSO, el cual es una solución densa compuesta de resinas bituminosas y sintéticas que cumple con las normas ASTM D449 Tipo 1, ASTM D 92, AASHTO M190 T44, T47, T49, MTC 622-11-(D). El rendimiento por galón de Z BITUMEN DENSO, es de 8 m<sup>2</sup> y se aplicó mediante brocha y rodillo. Posterior a la aplicación del esmalte en la superficie, esta no presentara grietas o fisuras debido a que en su composición se encuentran presentes elementos elastomericos y adhesivos



Figura N° 3.5: Presentación de 55 galones de esmalte bituminoso Z BITUMEN DE SO

La aplicación de la cobertura, al igual que la mayor parte de los trabajos de construcción, se efectúa mejor bajo condiciones climáticas favorables. Con el frío, la cobertura aumenta su viscosidad, resulta difícil de aplicar y no moja tan bien la superficie como cuando hace calor. Aún cuando se caliente la cobertura, si el concreto está frío, se obtendrá un trabajo de cobertura pobre. Es mejor pintar cuando la temperatura del aire y la del concreto sea superior a + 10 °C. Algunos consideran que la temperatura mínima para obtener un trabajo satisfactorio es de 7.5 °C.

Debe evitarse el pintar cuando la lluvia pueda golpear la superficie o cuando exista sobre ésta condensación de humedad.

### 3.5.1 Forma de aplicación

La forma en que se aplique la cobertura usualmente no es de importancia, siempre que el trabajo esté bien ejecutado. La aplicación a brocha, con rodillo o por aspersion es satisfactoria. Sin embargo, si el fabricante recomienda un procedimiento determinado, conviene seguirlo.



Figura N° 3.6: Se procede aplicar la cobertura a la superficie lateral de la zapata

Se prefiere aplicar la primera capa a brocha, sin considerar la forma en que se aplicarán las capas sucesivas. Suponen que las brochas se adaptan mejor la cobertura a las irregularidades de la superficie, y que el polvo que pueda existir en ella tendrá menor posibilidad de interferir en la adherencia de la cobertura.

Sin duda alguna, este procedimiento es altamente satisfactorio, pero la aplicación por aspersión de todas las capas puede también tener éxito.

La aplicación por rodillo alcanzó preeminencia con el desarrollo de las coberturas de látex, y actualmente es de uso común con éste y otros tipos de cobertura, especialmente cuando se aplican a paredes interiores. Para que la película de cobertura tenga buena apariencia y sea durable, es importante contar con una buena mano de obra. Cualquiera sea el procedimiento empleado, la cobertura debe aplicarse como una película húmeda continua, pero, naturalmente, no tan espesa que se corra o deforme. Debe cuidarse que la cobertura penetre las depresiones superficiales; que la cobertura sea uniforme; y que en los solapes exista una buena unión de la película.



Figura N° 3.7: Aplicación de la cobertura bituminosa con rodillo

### 3.5.2 Número de capas y espesor de la cobertura

El número de capas y espesor de la cobertura completa constituyen aspectos importantes. Es poco probable que una única capa, cualquiera sea el tipo de cobertura, provea el aspecto y la durabilidad deseadas.

Para buena durabilidad en exteriores, la cobertura completa y seca, deberá tener un espesor de aproximadamente 1,3 mm, como mínimo.

### 3.5.3 Tiempo de secado

El tiempo de secado, a transcurrir antes de aplicar una capa adicional de cobertura, varía entre límites amplios, dependiendo del tipo de cobertura y de las condiciones atmosféricas. Las coberturas simples al aceite son las de secado más lento, requiriendo por lo menos 24 horas, preferiblemente 48 horas, aún en tiempo cálido. Las coberturas al aceite reforzadas y los barnices secan más rápidamente; para ellas basta generalmente con una noche de secado. En ambientes fríos y húmedos debe aumentarse el tiempo de secado. El fabricante de coberturas debe aconsejar acerca del tiempo de secado conveniente para su producto particular.

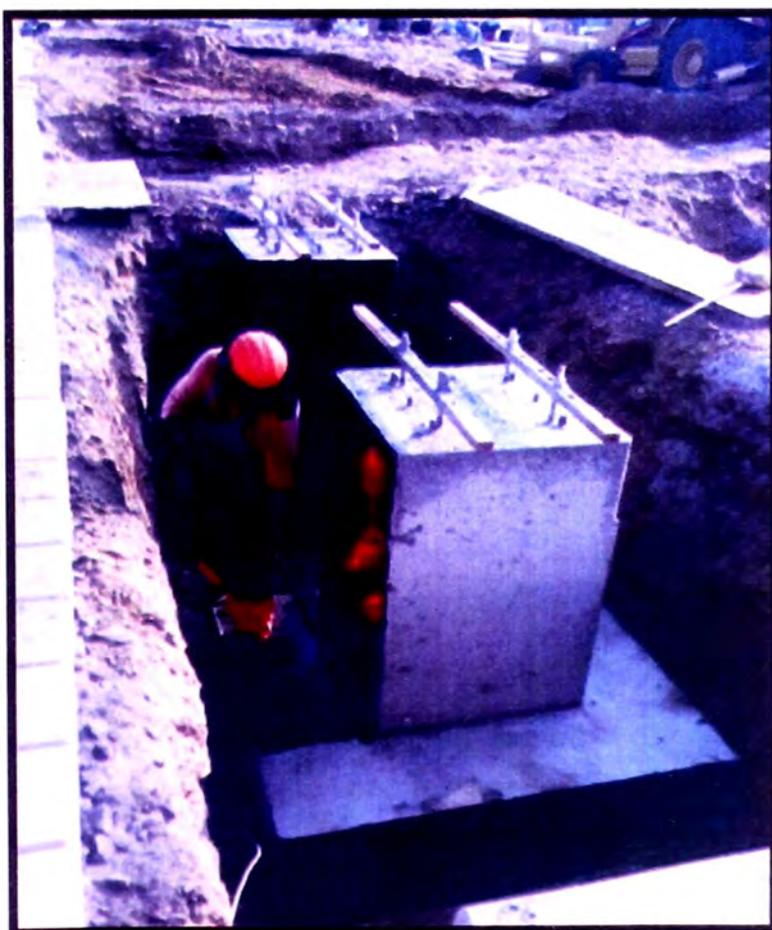


Figura N° 3.8: Se debe esperar al menos 24h antes aplicar otra capa

### 3.6 MANTENIMIENTO DE LA COBERTURA ASFÁLTICA

Cuando se desee volver aplicar el recubrimiento, empleando el mismo tipo de cobertura existente en la superficie, y ésta se encuentre en buenas condiciones, el procedimiento a emplear consiste simplemente en limpiar y aplicar una capa simple de cobertura asfáltica.

Los métodos de limpieza descritos anteriormente en la sección relativa a la preparación de la superficie del concreto nuevo, son aplicables en general. Si la capa de cobertura antigua ha sido removida sólo en parte, y la remanente se encuentra en buenas condiciones, las partes desnudas deben ser las primeras en aplicarse el recubrimiento luego se debe aplicar una capa sobre la superficie total. Cuando la cobertura antigua se encuentra en malas condiciones por estar ampollada, descascarada o reventada por efecto de eflorescencias, debe previamente analizarse la causa de los desperfectos. Puede el concreto haber sido pintado mientras era aún demasiado reciente, o bien puede existir una fuente de humedad. En este último caso, cualquier cobertura nueva muy probablemente resulte también poco satisfactoria a menos que pueda eliminarse la causa de la humedad.

En la operación de limpieza previa a la aplicación de cobertura, debe removerse toda película ampollada, desprendida o arrugada. Es preferible remover la totalidad de la cobertura antigua. La forma más eficaz para ello consiste en un ligero enarenado, un lijado mecánico o en el empleo de removedores de cobertura y barnices. La obturación de fisuras y agujeros en el concreto debe efectuarse en forma igual que si éste fuera reciente.

### 3.7 COSTO DE LA DURABILIDAD EN LA SUB-ESTACION CHICLAYO OESTE

Presentaremos la determinación del posible costo en el que se incurriría debido a la falta de planeación de la durabilidad, para eso presentaremos resumiremos algunos datos de la obra a la cual se hizo el seguimiento

#### a) Datos de la construcción

- Estructuras de concreto armado enterrados para soporte de equipos Eléctricos de Alta tensión dentro una Sub-Estación Eléctrica
- Especificaciones:  $f'_c = 310 \text{ kg / cm}^2$

**b) Condiciones de exposición**

- Construido en zona costera a menos de 10min de la playa.
- Temperaturas promedio superiores a los 30 °C y humedad relativa entre 60 y 80 por ciento.
- Cimentación en contacto con un suelo rico en sales (Cl y SO<sub>4</sub>)

**c) Condiciones de servicio**

- Grado de alteración de SULFATOS de moderado a severo.
- Presencia de CLORUROS en limites perjudiciales, generadores corrosión del acero de refuerzo.
- SALES SOLUBLES en limites perjudiciales

**d) Descripción de posibles daños a la estructura (en un lapso de 10 años)**

- Los daños se caracterizan por fisuramiento, desprendimientos superficiales de concreto y corrosión generalizada del acero de refuerzo; en casos extremos han desaparecido los estribos.
- La ubicación de las fisuras está claramente asociada en superficie a la posición del acero de refuerzo, y a profundidad se relaciona con la sección media de la varilla. Las fisuras presentan continuidad, longitud igual al acero de refuerzo y ancho de hasta 5 mm y sin relleno.
- El acero presenta productos de corrosión en toda la superficie expuesta y se estima que ha perdido menos del 10 por ciento de su sección original.

**e) Consecuencias**

- Necesidad de un reforzamiento y reparación, para asegurar el adecuado funcionamiento y seguridad de la estructura.
- Costos del proyecto incrementados en un porcentaje importante, derivado de los altos costos de mantenimiento y reparación.

### 3.7.1 Determinación del área para la aplicación del recubrimiento bituminoso

En el cuadro N°3.2, se presenta la cantidad de estructuras ejecutadas así como el área a recubrir con Z BITUMEN. Asimismo en el cuadro N°3.3, se presenta el

costo de la ejecución de las actividades de protección superficial en las estructuras descritas en el cuadro N°3.2.

Cuadro N°3.2: Áreas de aplicación de las diferentes estructuras

ESTRUCTURAS	CANTIDAD (UND)	METRADO (m <sup>2</sup> )
Pórticos C1	6	44.36
Interruptor	6	24.36
Seccionador	12	48.72
Seccionador con CPT	3	12.18
Transformador de corriente	6	24.36
Transformador de tensión	5	20.30
Descargador de sobretensión	3	12.18
Aislador de soporte	2	8.12
<b>TOTAL DE AREA</b>	<b>43UND</b>	<b>194.58m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración Propia datos tomados del Presupuesto Ampliación.09 SE CHICLAYO

Cuadro N°3.3: Partida de protección superficial con cobertura bituminosa

Ítem	Descripción de Actividades	Precio Unit (\$)	Metrado (UND)	Precio (\$)
6.1.9	01 capa de Z PRIMER y 02 capas de Z BITUMEN DENSO de protección	8.68	194.58	1689
	<b>COSTO TOTAL</b>			<b>1689 (\$)</b>

Fuente: Datos tomados del Presupuesto Ampliación.09 SE CHICLAYO

### 3.7.2 Cuantificación y comparación de los costos incurridos

A continuación presentamos en el cuadro N°3.4 las actividades y sus respectivos costos referentes a la reparación y reforzamiento de las estructuras que no han recibido protección superficial,

Cuadro N°3.4: Actividades a ejecutarse para la reparación de la estructura

Item	Descripción de Actividades	Precio Unit (\$)	Metrado (UND)	Precio (\$)
5.3.1	Levantamiento del estado actual de las fundaciones(dimensiones y estado)	300	43	12900
5.3.2	Estudios de resistencia de concreto	400	43	17200
5.3.3	Verificación del estado de las fundaciones	200	43	8600
5.4	Reforzamiento de las fundaciones	1000	43	43000
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>81700 (\$)</b>

Fuente: Datos tomados del Presupuestó Ampliacion.09 SE CHICLAYO

En el cuadro N°3.5 presentamos la comparación y diferencia de costos de la estructura protegida superficialmente con Z BITUMEN DENSO frente al costo que representaría la reparación y reforzamiento de las estructuras en un futuro próximo.

Dichos costos fueron aprobados y tomados del presupuesto ejecutado referente a la partida de reforzamiento de fundaciones existentes, los costos presentados son a todo costo y contemplan factores como la ubicación de la obra, mano de obra calificada, proveniente de Lima, seguros, insumos con los estándares establecidos por ISA-REP, etc.

Cuadro N°3.5: Comparación de los costos ha incurrirese

Item	Actividades	COSTO (\$)
1.0	Protección superficial con Z BITUMEN DENSO (43 estructuras)	1689
2.0	Reparación y reforzamiento de estructuras de concreto armado (43 estructuras)	81700
<b>DIFERENCIA</b>		<b>80011 (\$)</b>

Fuente: Datos tomados del Presupuestó Ampliacion.09 SE CHICLAYO

## CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Una estructura de concreto armado, bien diseñada y elaborada de acuerdo al RNE y siguiendo buenos procedimientos no debería presentar problemas de durabilidad

La cobertura asfáltica aplicada a estructuras enterradas representa una alternativa viable y económica en zonas de clima cálida y de regular presencia de lluvias, ya que nos permite impermeabilizar superficialmente a la estructura evitando de esta manera el ingreso de cloruros y sales, presentes en el suelo, al interior de la estructura.

El grado de limpieza y uniformidad de la superficie optimizara el efecto impermeabilizante de la cobertura asfáltica ya que permitirá una mejor adherencia del Z BITUMEN DENSO con el concreto brindando de esta forma un mayor tiempo de impermeabilización a la estructura.

Es necesario incluir dentro del planteamiento del proyecto (planos presupuestos, especificaciones técnicas) a la durabilidad ya que nos permitirá ampliar la vida útil de la estructura así como evitar costos innecesarios de reparación y reforzamiento debido a daños causados por la falta de previsión.

En los casos en que la corrosión implica a la durabilidad de la estructura, el conocimiento actual, permite su diagnóstico y la aplicación de métodos convenientes de prevención, corrección, reparación, restitución y control.

Se reducen los costos que puede ocasionar la reparación de las estructura en cerca de un 97% de dicho costo, generando así un ahorro de tiempo y dinero para el propietario.

En las próximas estructuras a ejecutarse, se deberá tener mucha cautela en los agregados y el agua que se empleara para la elaboración del concreto. La gran cantidad de daño por eflorescencia nos revela la utilización de agregados contaminados por sales.

## 4.2 RECOMENDACIONES

### ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO:

Analizar las condiciones del suelo y del agua subterránea, en caso donde se tenga nivel freático alto, a fin de determinar las concentraciones de sulfatos y sales existentes, evaluando la posible magnitud del ataque químico.

En nuestro medio la existencia de ambientes marinos está asociada a altas temperaturas del medio ambiente y son las causantes de acelerar cualquier proceso degradante o corrosivo.

Se deberá tener en cuenta el control de calidad de los materiales, los agregados gruesos y finos deberán tener los requisitos necesarios mediante el ensayo del laboratorio para su mejor resistencia de cada uno de los materiales.

### DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO:

Se deberá tener en cuenta la protección adecuada de la cimentación, ya que de esto dependerá la durabilidad y protección contra los efectos de corrosión. Además dependerá de algunos parámetros como el nivel freático y el tipo de suelo.

Recomendamos usar esmalte bituminoso como material impermeabilizante por su economía y efectividad, aplicándose inicialmente en el solado antes del vaciado del concreto, para luego continuar con las superficies de la cimentación.

El concreto a vaciar debe ser cuidadosamente dosificado, vaciado, compactado y curado. Con esto se conseguirá una baja porosidad y, por lo tanto, una alta permeabilidad.

El curado del concreto se debe llevar a cabo durante un periodo mayor que el normal, no debe ser menor de 7 días siendo lo recomendable un periodo de 28 días.

Se recomienda que la compactación o el vibrado del concreto se realicen uniformemente para lograr una distribución homogénea de la mezcla.

Usar concretos densos de baja permeabilidad, esto significa utilizar relaciones de agua cemento bajas o lo que es lo mismo, resistencias altas. Hoy en día se recomienda que la relación agua cemento en concretos expuestos no debe ser mayor de 0.50, lo que significa resistencias características no menores de

245kg/cm<sup>2</sup>, en obras marinas o vecinas al mar la resistencia característica mínima debe ser de 280kg/cm<sup>2</sup>.

Si se quiere impermeabilidad superficial no se puede usar encofrado deficiente o deteriorado sin curado efectivo no hay hidratación efectiva.

**DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN** (En caso de no haber aplicado la cobertura de impermeabilización)

El problema de los daños en una estructura debido al deterioro de la durabilidad debe enfrentarse, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a) Hacer una visita de inspección.
- b) Realizar un levantamiento de daños, para luego hacer un diagnóstico.
- c) Evaluar su gravedad de la edificación.
- d) Hacer la reparación y dar un tratamiento posterior para que se detenga el efecto de corrosión y en todo caso para que no ocurra la corrosión.

## BIBLIOGRAFÍA

- GONZALES DE LA COTERA, MANUEL, “Guía Introductoria a la Durabilidad en el Concreto”. Lima, Perú, 1999.
- MARROQUIN ESTEVES, ROY “Mejoramiento del sistema de agua potable de la Universidad nacional de Educación planta de tratamiento”, Informe de Suficiencia para Titulación Profesional FIC-UNI, Lima-Perú, 2008.
- RIVVA LOPEZ, ENRIQUE, “Concreto de Alta Resistencia”. Editora ICG, 2ª edición, Lima-Perú, 2012.
- RIVVA LOPEZ, ENRIQUE, “Durabilidad y Patología del concreto”. Lima-Perú, 2006.
- OLADIS DE RINCÓN, ALEIDA DE CARRUYO, CARMEN ANDRADE, PAULO HELENE e ISABEL DÍAZ (Eds), Red DURAR, Sub-Programa XV, CYTED – “Manual de Inspección, Evaluación y diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, 1997, 1ª Edición, Maracaibo-Venezuela

## ANEXOS

# FICHA TECNICA DE Z-BITUMEN DENSO

# Z BITUMEN DENSO

## DESCRIPCIÓN

Solución densa compuesta de resinas bituminosas y sintéticas, resistente al vapor y al agua así como a una concentración limitada de ácidos y álcalis ASTM D 449 Tipo 1 -ASTM D 92 ASSTHO M 190 T 44, T 47, T 49, MTC 622 - 11 - (C)

## VENTAJAS

- No se agrieta ni se raja por los elementos elastoméricos y adhesivos que contiene.
- Viene listo para aplicar
- Mayor adherencia al utilizar el imprimante Denso
- Sobre superficies metálicas, madera, concreto.

## USOS

- Superficies enterradas como: tuberías, fierros, columnas, postes, etc.
- Recubrimiento de tanques, jardinerías, cisternas, etc.
- Para pegar y proteger aislamiento térmicos.
- Pegar pastelero.

## APLICACIÓN

- Se recomienda que la superficie debe estar limpia de polvo y grasa.
- Viene listo para usar, remezclar dentro del envase
- Utilizar el imprimante para mayor adherencia

- Utilizar el Solvente B para limpiar la brocha, rodillo o plancha metálica.
- Utilizar dos manos: la del imprimante denso y la segunda mano de Z BITUMEN DENSO, dejando secar la anterior por lo menos 20' Bajo sombra.

## CUIDADOS

- Aplicar en lugares ventilados.
- Evitar el secamiento del producto, mantener el envase cerrado.
- Forma barreras de vapor por los solventes que contiene.

## RENDIMIENTO

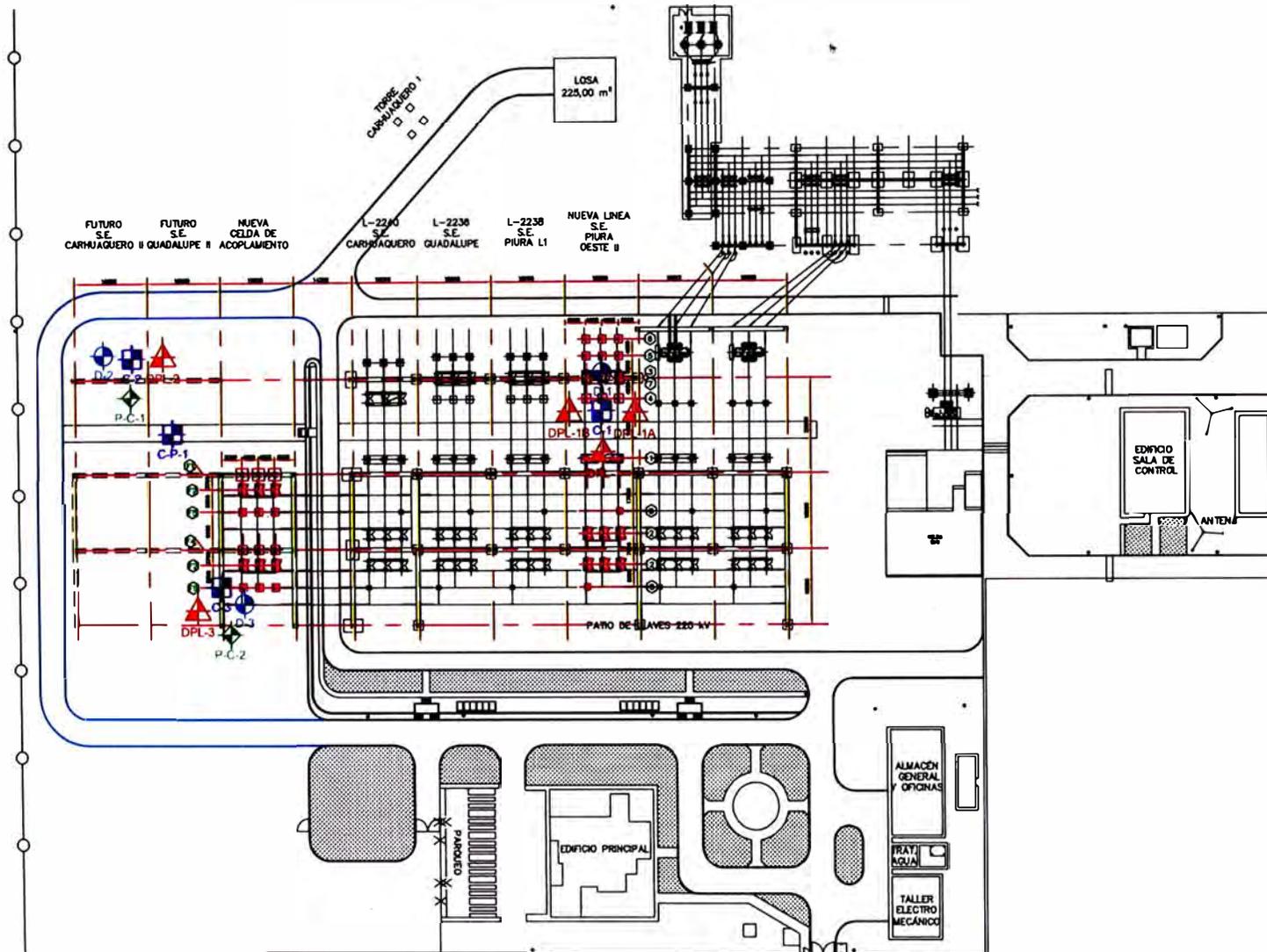
- 1 Galón de Z BITUMEN DENSO = 8 M<sup>2</sup>
- 1 Galón de IMPRIMANTE DENSO = 15.25 M<sup>2</sup>

## ENVASES

- 1 Galón; 5 Galones; 55 Galones.



# PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS



LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	CALICATAS
	ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA
	ENSAYOS DE DENSIDAD
	ENSAYOS DE PERCOLACION



PROYECTO: SUB ESTACIÓN CHICLAYO OESTE A 220 k V			
PLANO: UBICACION DE EXPLORACIONES GEOTECNICAS			
DEP.: Lambayeque	COMPONENTE: SUB ESTACION		N. PLANO
FECHA: Junio 2010	ING. RESPONSABLE: Y. A. B.		01
UBICACION: Chiclayo			

# REGISTRO DE CALICATAS

## REGISTRO DE EXCAVACION

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la Construcción de la Línea de Transmisión Piura Oeste - Chiclayo Oeste  
**SOLICITANTE** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**UBICACIÓN** : Subestación Chiclayo  
**TIPO DE EXPLORACION** : CALICATA MANUAL  
**Nº DE EXPLORACION** : C-1  
**NIVEL FREÁTICO (m)** : N.A.  
**PROF. DE EXPLORACION (m)** : 4.00  
**FECHA DE EXPLORACION** : 20/05/2010

PROF(m)	G R A F I C O	DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA Clasificación técnica; grado de compactad / consistencia; índice de plasticidad / compresibilidad; contenido de humedad y color. Otros: forma del material granular, presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	S U C S	GRANULOMETRIA (%)					Nº DE MUESTRA
				< 0.075 mm	0.075 a 4.750 mm	4.750 a 75 mm	I.P	% Humedad	
0.40		Arena arcillosa , denso, de mediana plasticidad, ligeramente húmedo, de color color gris claro.	SC	43.9	56.1	0.0	9		M-1 0.40
4.00		Contacto con roca fracturada							4.00

OBSERVACIONES :

## REGISTRO DE EXCAVACION

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la Construcción de la Línea de Transmisión Piura Oeste - Chiclayo Oeste  
**SOLICITANTE** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**UBICACIÓN** : Subestación Chiclayo  
**TIPO DE EXPLORACION** : CALICATA MANUAL  
**N° DE EXPLORACION** : C-2  
**NIVEL FREÁTICO (m)** : N.A.  
**PROF. DE EXPLORACION (m)** : 4,00  
**FECHA DE EXPLORACIÓN** : 20/08/2010

PROF(m)	G R A F I C O	DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA Clasificación técnica; grado de compacidad / consistencia, índice de plasticidad / compresibilidad; contenido de humedad y color. Otros: forma del material granular, presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleas / cantos, etc.	S U C S	GRANULOMETRIA (%)					N° DE MUESTRA
				< 0.075 mm	0.075 mm a 4.750 mm	4.750 mm a 75 mm	IP	% Humedad	
0.50	← ← ← ← ←	Relleno conformado por material de desmonte	Relleno						S/M
1.90	••••• ••••• ••••• ••••• •••••	Arena limosa, no plástica, medianamente densa, ligeramente húmeda de color beige.	SM	46,2	53,8	0,0	N.P		M-1
2.40	••••• ••••• ••••• ••••• •••••	Arena bien gradada con limo y grava, no plástica, medianamente densa, ligeramente húmedo de color beige.	SW-SM	9,80	59,10	31,10	3		M-2
2.80	••••• ••••• ••••• ••••• •••••	Arena arcillosa, medianamente densa, no plástico, ligera humedad, color beige.	SC	24,9	74,90	0,20	8		M-3
4.00	○ ○	Grava bien gradada con limo y arena, medianamente densa, no plástico, humedad media, color beige oscuro. No presenta oxidaciones, ni lentes de material orgánico. Tamaño máximo de gravas 2"	GW-GM	5,10	27,80				M-4

OBSERVACIONES :





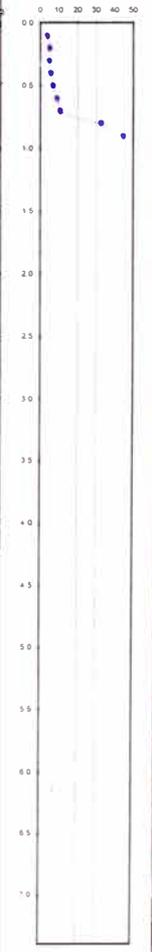
# ENSAYOS DPL

## REGISTRO DE SONDAJE

**SONDAJE : DPL - 1A**

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la construcción de la Línea de Transmisión Piura Oeste- Chiclayo Oeste - Chiclayo Oeste  
**SOLICITANTE** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**UBICACIÓN** : Subestación Chiclayo  
**FECHA** : 19/05/2010  
**COORDENADAS** : 6248987 ,9250216

**REVISADO** : H.B.A.  
**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** : 0.90 m  
**FECHA DE ENSAYO** : 24/04/2010  
**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA (m)** : N.A

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
			N SPT	$\phi$ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm <sup>2</sup> ) suelo cohesivo	
0.40	Arena		17	33.4	-	
2.00	Roca fracturada					
4.00						
6.00						
8.00						

OBSERVACIONES :

## REGISTRO DE SONDAJE

**SONDAJE : DPL - 1B**

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la construcción de la Línea de Transmisión Piura Oeste- Chiclayo  
**SOLICITANTE** : Oeste - Chiclayo Oeste  
**UBICACIÓN** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**FECHA** : Subestación Chiclayo  
**COORDENADAS** : 10/05/2010  
 : 6248987 ,9250216

**REVISADO** : H.B.A.  
**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** : 0,70 m  
**FECHA DE ENSAYO** : 24/04/2010  
**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA (m)** : N.A

PROF (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
			N SPT	$\phi$ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm <sup>2</sup> ) suelo cohesivo	
0.40	Arena		26	37,8	-	
	Roca fracturada					
2.00						
4.00						
6.00						
8.00						

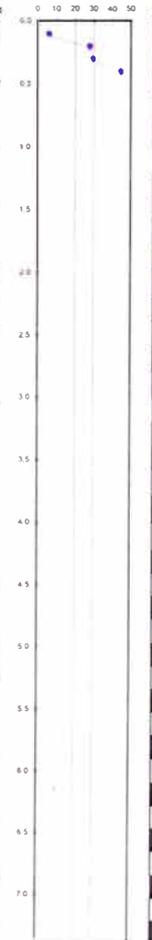
OBSERVACIONES :

## REGISTRO DE SONDAJE

**SONDAJE : DPL - 1C**

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la construcción de la Línea de Transmisión Plura Oeste- Chiclayo Oeste - Chiclayo Oeste  
**SOLICITANTE** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**UBICACIÓN** : Subestación Chiclayo  
**FECHA** : 19/05/2010  
**COORDENADAS** : 6248987 ,9250216

**REVISADO** : H.S.A.  
**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** : 0.40 m  
**FECHA DE ENSAYO** : 24/04/2010  
**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA (m)** : N.A

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES		ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
			N SPT	φ (°) c (Kg/cm <sup>2</sup> ) suelo friccionante suelo cohesivo	
0,40	Arena				
2.00	Roca fracturada				
4.00					
8.00					

OBSERVACIONES :

**REGISTRO DE SONDAJE**
**SONDAJE : DPL - 2**

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la construcción de la Línea de Transmisión Piura Oeste- Chiclayo  
**SOLICITANTE** : Oeste - Chiclayo Oeste  
**UBICACIÓN** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**FECHA** : Subestación Chiclayo  
**COORDENADAS** : 19/05/2010  
 : 624942 ,9250122

**REVISADO** : H.S.A.  
**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** : 3,00 m  
**FECHA DE ENSAYO** : 24/04/2010  
**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA (m)** : N/A

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
			N SPT	$\phi$ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm <sup>2</sup> ) suelo cohesivo	
0,50	Relleno		17	33,4	-	
	Arena Fina		13	31,1	-	
			14	31,7	-	
1,90			11	29,8	-	
2,40	Arena con grava		19	34,5	-	
2,80	Arena Fina		65	51,1	-	
	Grava con arena					
4,00						
4,00						

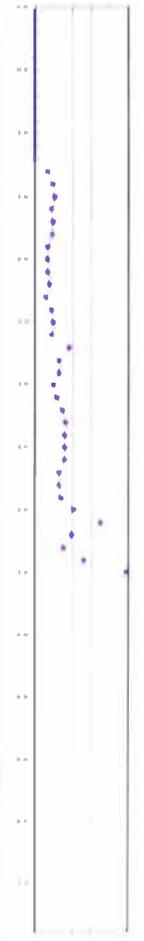
**OBSERVACIONES** :

**REGISTRO DE SONDAJE**

SONDAJE : DPL - 3

**PROYECTO** : Prestación de Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica durante la construcción de la Línea de Transmisión Plura Oeste- Chiclayo  
**SOLICITANTE** : Oeste - Chiclayo Oeste  
**UBICACIÓN** : Ingeniería IEB Peru S.A.C.  
**FECHA** : Subestación Chiclayo  
**COORDENADAS** : 20/08/2010  
 624977 , 9650160

**REVISADO** : H.B.A.  
**PROFUNDIDAD TOTAL (m)** : 4,80 m  
**FECHA DE ENSAYO** : 20/08/2010  
**PROFUNDIDAD NAPA FREÁTICA (m)** : N.A

PROF (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA IP de golpes N <sub>60</sub> = 10 cm
			N SP	f <sub>1</sub> suelo f <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) f <sub>1</sub> (ton/cm <sup>2</sup> )	f <sub>2</sub> suelo f <sub>2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) f <sub>2</sub> (ton/cm <sup>2</sup> )	
0,00	Relleno		2	21,3	-	
1,10	Arena		9	20,4	-	
2,20		7	20,8	-		
4,00	Arena con grava		13	31,1	-	
			14	31,7	-	
			14	31,7	-	
			23	30,4	-	
			79	54,7	-	

**OBSERVACIONES** : El ensayo se realizó a 1,30m, en la calicata G-3.  
 El material de relleno abarca desde 0,00 - 1,30m

# ENSAYOS QUIMICOS

# ANALISIS DE SUELO SALES

**SOLICITANTE** : IEB PERU S.A.C.  
**PROYECTO** : Sub Estación Chiclayo  
**PROCEDENCIA** : Chiclayo  
**FECHA** : La Molina, 03 de Junio del 2010

<b>N° Lab.</b>	<b>N° Campo</b>	<b>S.S.T. (ppm)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (ppm)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (ppm)</b>	<b>pH</b>
11291	C - 1 Prof. 0.40 - 1.00 mt.	31,230.00	7,663.60	2,585.89	7.62

**Métodos**

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua- NTP339.152

Cloruro Soluble: Método de Mohr

Sulfato Soluble: Método Turbidimétrico

pH: Método Potenciométrico

# ANALISIS DE SUELO SALES

**SOLICITANTE** : IEB PERU S.A.C.  
**PROYECTO** : Sub Estación Chiclayo  
**PROCEDENCIA** : Chiclayo  
**FECHA** : La Molina, 03 de Junio del 2010

N° Lab.	N° Campo	S.S.T. (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)	pH
11292	C - 3 Prof. 1.10 - 2.20 mt.	33,930.00	9,447.20	1,620.04	7.60

**Métodos**

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua- NTP339.152

Cloruro Soluble: Método de Mohr

Sulfato Soluble: Método Turbidimétrico

pH: Método Potenciométrico

# ANALISIS DE SUELO SALES

**SOLICITANTE** : IEB PERU S.A.C.  
**PROYECTO** : Sub Estación Chiclayo  
**PROCEDENCIA** : Chiclayo  
**FECHA** : La Molina, 03 de Junio del 2010

N° Lab.	N° Campo	S.S.T. (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (ppm)	pH
11293	C - 2 Prof. 0.50 - 1.90 mt.	22,200.30	6,252.40	1,085.54	7.81

**Métodos**

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua- NTP339.152

Cloruro Soluble: Método de Mohr

Sulfato Soluble: Método Turbidimétrico

pH: Método Potenciométrico

# ANALISIS DE SUELO SALES

**SOLICITANTE** : IEB PERU S.A.C.  
**PROYECTO** : Sub estación Piura  
**PROCEDENCIA** : Piura  
**FECHA** : La Molina, 03 de Junio del 2010

N° Lab.	N° Campo	S.S.T. (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (ppm)	pH
11295	C - 1 Prof. 1.10 - 1.80 mt.	4,785.00	1,191.68	207.48	7.90

**Métodos**

Sales Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua- NTP339.152

Cloruro Soluble: Método de Mohr

Sulfato Soluble: Método Turbidimétrico

pH: Método Potenciométrico

# ESTUDIO DE SUELOS

## INDICE

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1    Introducción .....	1
1.2    Ubicación .....	1
1.3    Objetivo.....	1
1.4    Acceso .....	2
1.5    Geografía y Clima .....	2
<b>2. GEOLOGIA</b> .....	<b>3</b>
2.1    Geología del Lugar .....	3
2.2    Litoestratigrafía .....	3
2.3    Geodinámica Externa .....	5
<b>3. INVESTIGACIONES DE CAMPO</b> .....	<b>5</b>
3.1    Evaluación Geológica .....	5
3.2    Evaluación Geotécnica .....	5
3.2.1    Excavación de Calicatas.....	5
3.2.2    Ensayos de Penetración Dinámica Ligera DPL.....	6
3.2.3    Ensayos de Densidad In – Situ.....	7
3.2.4    Ensayo de Percolación .....	8
<b>4. ENSAYOS DE LABORATORIO</b> .....	<b>8</b>
4.1    Ensayos Estándar.....	8
4.2    Ensayos Químicos .....	9
<b>5. PERFIL ESTRATIGRÁFICO</b> .....	<b>11</b>
<b>6. NIVEL DE LA NAPA FREÁTICA</b> .....	<b>12</b>
<b>7. PARAMETROS DE RESISTENCIA</b> .....	<b>12</b>
<b>8. PARAMETROS DE DISEÑO SISMORESISTENTE</b> .....	<b>16</b>
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>17</b>

**ANEXOS**

- ANEXO A : ENSAYOS DE CAMPO**
- ANEXO B : ENSAYOS DE LABORATORIO**
- ANEXO C : EVALUACION GEOTECNICA**
- ANEXO D : ANALISIS DE CAPACIDAD ADMISIBLE**

**LAMINA: UBICACIÓN DE EXPLORACIONES CAMPO**

**PANEL FOTOGRAFICO**

## **ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN**

### **DE LA SUBESTACION ELECTRICA CHICLAYO OESTE**

#### **1. GENERALIDADES**

##### **1.1 Introducción**

El presente Informe es el resultado de la investigación efectuada durante la visita técnica a la zona de estudio, con el fin de evaluar las condiciones geotécnicas para el desarrollo del proyecto de ampliación en la Subestación Chiclayo.

Para tal efecto personal de la Empresa RUMI Ingenieros Geotécnicos S.A.C realiza la visita técnica y la ejecución de los ensayos de campo del 19 al 21 de Mayo del 2010.

El presente Informe contiene los resultados de la evaluación geológica – geotécnica realizada en campo.

##### **1.2 Ubicación**

La zona de estudio se encuentra situada en la Av. Miguel Bartra N° 500, Urb. Las Brisas Chiclayo, Departamento Lambayeque.

##### **1.3 Objetivo**

El Estudio tiene por objetivo determinar características y parámetros de la capacidad portante del suelo donde se proyecta ubicar las estructuras para el proyecto.

El programa de trabajo del presente Estudio consistió en:

Revisión de la información disponible.

Excavación de calicatas

Ejecución de los Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL)

Ensayos de Densidad de Campo In-Situ

Ensayos de Percolación

Ensayos de laboratorio (suelos y químicos).

- Determinación de los parámetros físico- mecánicos del suelo.
- Elaboración del perfil estratigráfico.
- Análisis de cimentación superficial.
- Conclusiones y recomendaciones.

#### 1.4 Acceso

Para llegar a la Subestación Chiclayo se accede desde la ciudad de Lima por vía aérea o por carretera asfaltada hasta la ciudad de Trujillo, para luego dirigirse hacia Chiclayo.

Nº	TRAMO	DISTANCIA Km.	TIEMPO Hrs.	TIPO DE VÍA	VÍA PRINCIPAL
1	LIMA - TRUJILLO	556	8	ASFALTADA	Lima– Chimbote- Trujillo
2	TRUJILLO - CHICLAYO	207	3	ASFALTADA	Trujillo - Chiclayo

#### 1.5 Geografía y Clima

Por estar Lambayeque situado en una zona tropical, cerca del ecuador, el clima debía ser caluroso, húmedo, y lluvioso; sin embargo su estado sub. tropical, con fuertes vientos denominados ciclones. Periódicamente, cada 7, 10, 15, años se presentan temperaturas elevadas, con lluvias regulares y aumento extremado del agua de los ríos, lluvias de las que se tiene referencia desde épocas precolombinas, como las que refiere la leyenda de Naylamp, y se repiten en desde 1720 en adelante, Lluvias que siempre han causado destrozos en los cultivos, las viviendas, caminos, puentes, y han acabado con la vida de animales y personas.

La temperatura en verano fluctúa entre 20°C como mínimo y 30°C como máximo; cuando el clima se tropicaliza, casa ciertos años, la temperatura fluctúa entre 30-35°. En invierno la temperatura mínima es de 15°y máxima de 24°. Por lo general a medida que se aleja de la orilla del mar avanzando hacia el este hasta los 500 m.s.n.m. la T° se va elevando, sintiéndose principalmente a medio día un calor sofocante, como se puede apreciar en Pucalá, Zaña, Chongoyape, Oyotún, Nva. Arica; este fenómeno se explica porque la tierra y los cerros áridos que rodean a

estas zonas refractan el calor y porque los vientos que soplan del mar a la tierra llegan débiles.

Entre los factores que influyen en la determinación del clima departamental están; el mar, las corrientes peruanas del Niño, la atmósfera dominada por el anticiclón de Pacífico Sur, los vientos y las Cordillera de los Andes.

## **2. GEOLOGIA**

### **2.1 Geología del Lugar**

El área en estudio, se encuentra situado muy cerca del borde litoral al norte del país. Está conformado por material cuaternario de arenas eólicas como cobertura y debajo arenas ligeramente limosas algo compactas con presencia de carbonatos.

Se observa elevaciones a modo de lomadas y pequeños cerros. Las elevaciones se deben fundamentalmente a la presencia de rocas de la Formación Goyllarisquizga (arenisca y cuarcita) quienes se encuentran bastante fracturadas e intemperizadas. En las partes bajas o depresiones se tiene esencialmente arena fina de color gris de origen eólico como cobertura con muy poca o casi nada presencia de gravas y debajo de estas.

### **2.2 Litoestratigrafía**

La estratigrafía en general, se enmarca en la faja costanera que está conformada por extensas pampas de material cuaternario y de algunos cerros o cadenas de cerros que sobresalen a los terrenos adyacentes.

Para el presente informe solo mencionaremos la unidad lito-estratigráfica local donde se ubica el terreno o área de estudio, que son principalmente depósitos Cuaternarios y algunos remanentes de roca perteneciente al Grupo Goyllarisquizga.

Los suelos se caracterizan por su composición en depósitos finos sedimentados y compresibles, formados por arcillas inorgánicas de limos plásticos y no plásticos, en estratos variables y paralelos.

### **Formación Goyllarisquizga**

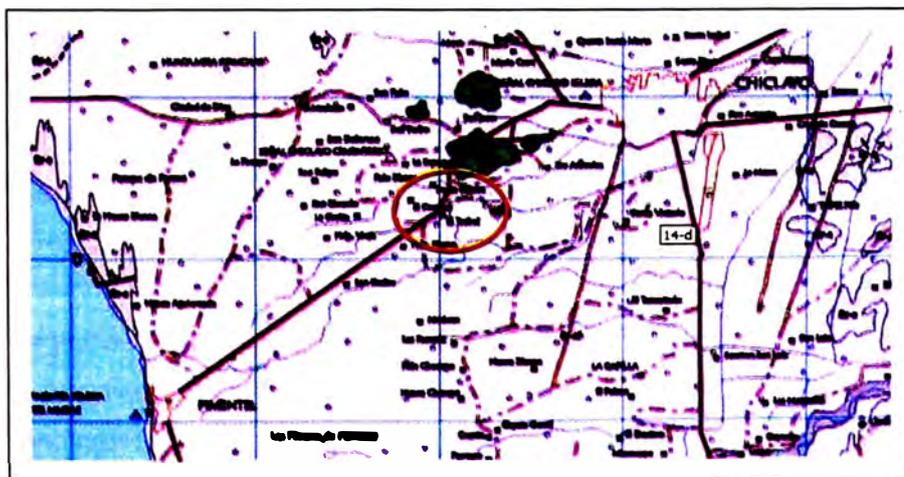
Esta formación se encuentra aflorando de manera dispersa casi en todo el departamento de Lambayeque en forma de cerros. Consiste en areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris, marrón y rosada. La estratificación es común en la mayoría de los afloramientos.

### **Depósitos Aluviales, fluviales y marinos**

Los depósitos aluviales, fluviales y marinos, constituidos por cantos rodados, gravas, arena gruesa y arena fina con relleno arcilloso y limos, se presentan en los cauces de los ríos permanentes y temporales, riachuelos, arroyos y en el litoral marino, así como las Pampas de Reque.

### **Depósitos Eólicos**

Se trata de depósitos constituidos por materiales transportados por los vientos que transcurren a lo largo de la faja costanera muy cerca al borde litoral consistentes en arenas de grano fino a medio, que a su vez desarrollan geformas típicas en algunos casos, como las dunas en superficie. En el área de estudio no se observa con claridad las dunas debido probablemente al cambio de dirección variable del viento; Estas son de edad del Cuaternario reciente.



## **2.3 Geodinámica Externa**

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, no se aprecia indicios de actividad que pudieran comprometer la estabilidad del proyecto para la Ampliación de la Subestación.

## **3. INVESTIGACIONES DE CAMPO**

### **3.1 Evaluación Geológica**

La evaluación geológica de campo se efectuó los días 19 al 21 de Mayo del 2010. La zona de estudio se concentró en los alrededores de la Subestación de Chiclayo y en lo referente al aspecto geológico mencionaremos que el tipo de suelo o terreno donde se proyecta ubicar la ampliación de la subestación, se asienta en depósitos cuaternarios. Este depósito está conformado superficialmente por arenas eólicas a modo de cobertura, luego se tiene limo arcilloso con presencia de gravas aisladas; más a profundidad se tiene este mismo material solo que más consolidado y compacto según se puede interpretar de los ensayos de penetración dinámica ligera.

No se detectó nivel freático, ni presenta vegetación en superficie, tampoco presenta humedad el terreno. Riesgos geodinámicos externos no apreciable.

### **3.2 Evaluación Geotécnica**

#### **3.2.1 Excavación de Calicatas**

Con el objeto de identificar los diferentes estratos de suelo y su composición, se ejecutaron: 04 excavaciones manuales a cielo abierto, denominadas calicatas C-1, C-2, C-3 y C-P-1.

Los registros de las excavaciones se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D-2488, extrayendo las muestras disturbadas para la ejecución de ensayos estándar de clasificación de suelos, además la muestra fue identificada convenientemente y embalada en bolsas de polietileno las que fueron remitidas al laboratorio.

El cuadro siguiente presenta un resumen del registro de las excavaciones y los ensayos realizados.

**Cuadro 3.2.1**

**Resumen de excavaciones**

<b>Calicatas</b>	<b>Profundidad alcanzada (m)</b>	<b>N.F.</b>	<b>Ensayos Realizados</b>
C-1	0,40	N.A.	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ
C-2	4,00	N.A.	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ
C-3	4,00	N.A.	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ y Permeabilidad
C-P-1	1,50	N.A.	Registro de Calicatas, DPL, Densidad In Situ y Permeabilidad

En el Anexo A, se presentan los registros de Trabajos de campo.

### **3.2.2 Ensayos de Penetración Dinámica Ligera DPL**

Se realizaron 05 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), con la finalidad de determinar los parámetros y condiciones de resistencia del terreno de fundación de las estructuras proyectadas.

El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 Kg. de peso, que cae libremente desde una altura de 50cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo por cada 30 cm de hincado.

El cuadro N° 3.2.2, resume las profundidades alcanzadas en cada uno de los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), realizados en él área del proyecto.

**Cuadro 3.2.2**  
**Resumen de ensayos DPL**

DPL	Calicata	Prof. Alcanzada (m)
DPL – 1	C-1	0,90
DPL – 1A	C-1	0,70
DPL – 1B	C-1	0,40
DPL – 2	C-2	3,00
DPL – 3	C-3	4,60

En el Anexo A, "REGISTRO DE ENSAYOS DPL", se presenta los registros de los ensayos DPL y sus profundidades alcanzadas, junto a la correlación con el valor N del ensayo SPT y sus parámetros de resistencia cortante de los suelos (C y  $\phi$ ), considerando el tipo de suelo.

### 3.2.3 Ensayos de Densidad In – Situ

Con la finalidad de determinar la densidad natural del suelo, se ha realizado el ensayo de densidad de campo por el método del Cono de Arenas.

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos:

**Cuadro 3.2.3**

**Resumen del ensayo de Densidad de Campo**

Ubicación	Nombre	Profundidad (m)	Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )
C-1	D-C-1	0,40	1,747
C-2	D-C-2	4,00	1,639
C-3	D-C-3	4,00	1,431
C-P-1	D-C-P-1	1,50	1,403

**Nota:** El ensayo de densidad se realizó en el estrato conformado por material fino (arena).

Los resultados del procesamiento datos se presentan en el Anexo A



**Cuadro 4.1**

**Resumen de Resultados de Laboratorio**

Calicata	Profundidad (m)	N° de Muestra	Características del material (%)						Clasificación SUCS
			Granulometría			Contenido Humedad	Límite Líquido	Límite Plástico	
			Grava	Arena	Fino				
C-1	0,0-0,4	M-1	0,0	56,1	43,9	8,7	30	22	SC
C-2	0,5-4,0	M-1	0,0	53,8	46,2	13,3	--	N.P.	SM
		M-2	31,1	59,1	9,8	8,8	--	N.P.	SW-SM
		M-3	0,2	74,9	24,9	11,3	30	N.P.	SC
		M-4	67,1	27,8	5,1	7,5	--	N.P.	GW-GM
C-3	1,1-4,0	M-1	2,7	60,4	36,9	10,8	30	18	SC
		M-2	29,7	47,3	23,0	12,9	--	N.P.	SM
		M-3	0,9	85,5	13,6	15,3	--	N.P.	SM
C-P-1	0,6-1,5	M-1	1,4	62,6	36,0	7,2	30	19	SC

Nota:

N .P = No presenta

Los certificados de los ensayos realizados, se adjuntan en el Anexo B. "Ensayos de Laboratorio".

#### 4.2 Ensayos Químicos

Con la finalidad de estimar el grado de agresividad del suelo hacia las estructuras de concreto y acero proyectadas, se realizaron los ensayos químicos consistente en la determinación en partes por millón de Sales Solubles Totales, Cloruros y Sulfato presentes en las calicatas C-1, C-2 y C-3.

**Cuadro N° 4.2**

**Resumen de los Resultados de Ensayos Químicos**

Ubicación	Profundidad (m)	Sales Solubles Totales (p.p.m)	Cloruros (p.p.m)	Sulfatos (p.p.m)	P.H.
C-1	0,40 – 1,00	31,230.00	7,663.60	2,585.89	7,62
C-2	0,50 – 1,90	22,200.30	6,252.40	1,085.54	7,81
C-3	1,10 – 2,20	33,930.00	9,447.20	1,620.04	7,60

Los Registros de ensayos se adjuntan en anexo B: "Ensayos de Laboratorio".

En base a los resultados del análisis químico de las muestras (Cuadro 4.2) y de acuerdo al Cuadro 8.3 “Límites Permisibles” en que se presentan las cantidades en partes por millón (p.p.m) de sulfatos, cloruros y sales solubles totales, así como el grado de alteración y las observaciones del ataque a las armaduras y al concreto, se da las recomendaciones necesarias para la protección de la cimentación del ataque químico de las muestras analizadas.

**Cuadro 8.5**

**Límites Permisibles**

<b>Presencia en el Suelo de:</b>	<b>p.p.m</b>	<b>Grado de Alteración</b>	<b>Observaciones</b>
*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	>6,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
**Sales Soluble totales	>15,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

\* Comité ACI 318-83

\*\* Experiencia existente

Con respecto a la cantidad en p.p.m de sulfatos, existen tolerancias permisibles que se encuentran en el Reglamento Nacional de Edificaciones, los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio indican grado de alteración considerado de MODERADO a SEVERO, por lo que se recomienda usar Cemento tipo V.

Los cloruros producen corrosión a estructuras metálicas, al refuerzo de acero del concreto, etc. Con respecto a la cantidad en p.p.m de cloruros en las muestras de suelo analizados, los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio indican que se encuentran como PERJUDICIALES, por lo que es necesario proteger la estructura, colocando un protección (recubrimiento ) al acero a colocarse. Además se recomienda que en la mezcla agua cemento se baje la proporción de agua cemento.

Con respecto a las sales solubles totales, los valores obtenidos de los ensayos químicos en las muestras indican fuera de los límites permisibles es decir PERJUDICIAL; por lo que es necesario tomar las medidas necesarias para evitar

la pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación. Se recomienda un buen sistema de drenaje, de modo que impida que el agua lave los finos, ocasionando la pérdida de resistencia del suelo.

## **5. PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

La evaluación del perfil estratigráfico de los depósitos de suelos se ha realizado en base a los registros de excavación de calicatas, ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) y resultados de los ensayos de laboratorio.

La clasificación visual de los suelos efectuada en el campo, se ha comparado con los resultados correspondientes de laboratorio; de esa comparación se ha obtenido el perfil estratigráfico del suelo debidamente clasificado cuya descripción es la que sigue:

Inicialmente nos encontramos con material de relleno conformado por desmante hasta 1,10m, subyaciendo a esta capa encontramos arena arcillosa, medianamente densa, ligeramente plástica, ligeramente húmeda de color beige a gris intercalado con arena limosa, no plástica, medianamente densa, ligeramente húmeda, con cierto contenido de grava, hasta los 4.00m. Siendo mas pronunciada en la presencia de grava en la calicata C-2, con limo y arena, hasta los 4,00 m, a partir de la cual ya podemos encontrar la roca bastante triturada pasando a ser suelo. Aunque en la profundidad a la que encontramos la roca es variable ya que en lugares cercanos la encontramos aflorando en superficie. En la calicata nº 1 se ha encontrado arena arcillosa hasta los 0.40 cm y subyacente a esta capa se tuvo contacto con roca fracturada, obteniéndose de la parte superficial de ésta, la clasificación de grava arcillosa con arena.

## 6. NIVEL DE LA NAPA FREÁTICA

La ubicación de la napa freática se determina en función de la época del año en la que se realice la investigación de campo, así como de las variaciones naturales de los sistemas de lluvia que abastecen los estratos acuíferos.

En la zona comprendida en el estudio no se ha detectado la napa freática dentro de la máxima profundidad de investigación (4,00m) en la fecha en que se realizó la visita técnica y el ensayo DPL (20 de Mayo del 2010).

## 7. PARAMETROS DE RESISTENCIA

Para determinar el ángulo de fricción interna de las gravas, arenas y limos se utilizará el valor de N, determinado con el ensayo de penetración dinámica ligera DPL, luego se utilizará la correlación empírica propuesta por Ohsaki (1959) que relaciona el valor N con el ángulo de fricción.

$$\phi = \sqrt{20 * N} + 15$$

Donde:

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo.

N = Número de golpes por cada 30 cm de penetración del ensayo de SPT.

Existen otras relaciones como la de Peck, Hanson y Thornburn (1974) que proporcionan una correlación entre N corregido ( $N_{cor}$ ) y  $\phi$ .

$$\phi(^{\circ}) = 27.1 + 0.3N_{cor} - 0.00054N_{cor}^2$$
$$N_{cor} = C_N N_F$$

Donde:

CN : Factor de corrección =  $\left(\frac{1}{\sigma_v}\right)^{0.5}$  (Liao y Whitman, 1986)  
NF : Valor N obtenido en el campo

Recientemente, Hatanaka y Uchida (1996) propusieron una simple correlación entre  $N_{cor}$  y  $\phi$ , que se expresa como:

$$\phi(^{\circ}) = (20 N_{cor})^{0.5} + 20$$

Para determinar la cohesión a partir del valor N obtenido de la correlación con el ensayo de Penetración realizado, se puede deducir el valor de la resistencia a la compresión simple,  $q_u$ , mediante la relación propuesta por HUNT en 1984 y las tablas propuestas por NAVFAC en 1971, en condiciones sin drenaje se adopta el valor de la resistencia al corte igual a la mitad de la resistencia a la compresión simple sin confinamiento.

Usando las correlaciones indicadas se ha preparado hojas de cálculo que en forma automática determinan el valor de la cohesión.

En los reportes del ensayo DPL, se presentan los resultados de la correlación realizada.

Para el cálculo de la capacidad admisible, se reducirá los parámetros por una posible falla local de acuerdo a la siguiente correlación propuesta por Terzaghi:

$$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{2}{3} \tan(\phi) \right]; \quad c' = 2/3c$$

Con los datos obtenidos en campo se presenta el siguiente resumen del Análisis de Capacidad Admisible, para las diferentes estructuras tanto para el zona externa ( zona de ampliación ) de la S.E. como para la interna ( zona de plataforma existente).

PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA  
LÍNEA DE TRANSMISIÓN PIURA OESTE –CHICLAYO OESTE A 220 k V  
AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN PIURA OESTE Y CHICLAYO OESTE A 220 k V  
SUBESTACIÓN CHICLAYO OESTE A 220 kV

**CIMENTACION CORRIDA - ESTRUCTURAS LIVIANAS - ZONA DE AMPLIACIÓN**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=0.8m	B=0.9m	B=1.0m	B=1.2m	B=1.3m	B=1.5m				
Arena limosa	1,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,60	0,00	26,8	84
Arena limosa	1,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	1,60	0,00	26,8	84
Arena limosa	1,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	1,60	0,00	26,8	84
Arena limosa	2,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,60	0,00	27,6	96
Arena limosa	2,2	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,70	0,00	28,4	108

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

**CIMENTACION CUADRADA - PORTICOS (ZONA DE AMPLIACIÓN)**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=1.5m	B=2.m	B=2.5m	B=3.m	B=3.5m	B=4.m				
Arena con grava	2	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	1,6	0	27,6	96
Arena con grava	2,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	1,7	0	28,4	108
Arena con grava	2,5	1,7	1,7	1,8	1,5	1,3	1,1	1,7	0	31,1	156
Arena con grava	3	1,8	2,2	1,9	1,7	1,4	1,2	1,7	0	31,7	168
Arena con grava	3,5	1,8	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2	1,7	0	31,7	168

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA  
LÍNEA DE TRANSMISIÓN PIURA OESTE –CHICLAYO OESTE A 220 k V  
AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN PIURA OESTE Y CHICLAYO OESTE A 220 k V  
SUBESTACIÓN CHICLAYO OESTE A 220 kV

**CIMENTACION CORRIDA - ESTRUCTURAS LIVIANAS ( ZONA DE PLATAFORMA EXISTENTE )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=0.8m	B=0.9m	B=1.0m	B=1.2m	B=1.3m	B=1.5m				
Roca Fracturada	<b>1,2</b>	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>1,5</b>	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>1,8</b>	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,0</b>	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,2</b>	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	1,80	0,00	35,5	300

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

**CIMENTACION CUADRADA - PORTICOS (ZONA DE PLATAFORMA EXISTENTE )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=1.5m	B=2.m	B=2.5m	B=3.m	B=3.5m	B=4.m				
Roca Fracturada	<b>2,0</b>	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,2</b>	2,5	2,6	2,6	2,7	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,5</b>	2,8	2,9	2,9	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>3,0</b>	2,8	3,4	3,4	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>3,5</b>	2,8	3,9	3,5	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

Donde:

Df : Profundidad de cimentación.

C : Cohesión

φ : Angulo de Fricción

q<sub>adm</sub> : Capacidad admisible determinada con parámetros de resistencia cortante.(Kg/cm<sup>2</sup>)

E<sub>s</sub> : Módulo de elasticidad

B : Ancho de la cimentación (m)

γ : Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>)

## 8. PARAMETROS DE DISEÑO SISMORESISTENTE

Dentro del territorio peruano se han establecido tres zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor ocurrencia de los sismos. Según los Mapas de Zonificación Sísmica del Perú, propuesto por la norma Sismo – Resistente E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Los parámetros geotécnicos del área estudiada pertenecen a una zona de "sismicidad alta" y presenta las siguientes características:

**Cuadro 8.1**  
**Resumen de Parámetros Sismorresistentes**

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Factor de Zona (Z)</b>	<b>Perfil Tipo de Suelo</b>	<b>Período Predominante (T<sub>p</sub>)</b>	<b>Factor de Amplificación Sísmica</b>
<b>Tipo I</b> ( Roca fracturada )  <b>Zona de plataforma existente</b>	0,4	S <sub>1</sub>	0,4	1,0
<b>Tipo II</b> ( Arena limosa )  <b>Zona de Ampliación</b>	0,4	S <sub>2</sub>	0,6	1,2

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona de estudio se encuentra situada en la Av. Miguel Bartra N° 500, Urb. Las Brisas Chiclayo, Departamento Lambayeque.
- Con respecto a la evaluación geológica realizada en la zona de estudio, no se observan riesgos geodinámicos externos de consideración que pudieran afectar la estabilidad de las obras a desarrollarse en la futura ampliación de la subestación.

Con respecto al perfil estratigráfico inicialmente nos encontramos con material de relleno conformado por desmorte hasta 1,10m, subyaciendo a esta capa encontramos arena arcillosa, medianamente densa, ligeramente plástica, ligeramente húmeda de color beige a gris intercalado con arena limosa, no plástica, medianamente densa, ligeramente húmeda, con cierto contenido de grava, hasta los 4.00 m. Siendo mas pronunciada en la presencia de grava en la calicata C-2, con limo y arena, hasta los 4,00 m. Aunque en la profundidad a la que encontramos la roca es variable ya que en lugares cercanos la encontramos aflorando en superficie. En la calicata n° 1 se ha encontrado arena arcillosa hasta los 0.40 cm y subyacente a esta capa se tuvo contacto con roca fracturada, obteniéndose de la parte superficial de ésta, la clasificación de grava arcillosa con arena.

- En la zona comprendida en el estudio no se ha detectado la Napa Freática dentro de la máxima profundidad de investigación (4,60m) en la fecha en que se realizó la visita técnica y el ensayo DPL (20 de Mayo del 2010).
- Con los datos obtenidos en campo se presenta el siguiente resumen del Análisis de Capacidad Admisible, para las diferentes estructuras tanto para el zona externa de la S.E. como para la interna.

PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA  
LÍNEA DE TRANSMISIÓN PIURA OESTE –CHICLAYO OESTE A 220 k V  
AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN PIURA OESTE Y CHICLAYO OESTE A 220 k V  
SUBESTACIÓN CHICLAYO OESTE A 220 kV

**CIMENTACION CORRIDA - ESTRUCTURAS LIVIANAS ( EN ZONA DE AMPLIACIÓN )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=0.8m	B=0.9m	B=1.0m	B=1.2m	B=1.3m	B=1.5m				
Arena limosa	<b>1,2</b>	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1,60	0,00	26.8	84
Arena limosa	<b>1,5</b>	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	1,60	0,00	26.8	84
Arena limosa	<b>1,8</b>	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	1,60	0,00	26.8	84
Arena limosa	<b>2,0</b>	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1,60	0,00	27.6	96
Arena limosa	<b>2,2</b>	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1,70	0,00	28.4	108

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

**CIMENTACION CUADRADA - PORTICOS ( EN ZONA DE AMPLIACIÓN )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=1.5m	B=2.m	B=2.5m	B=3.m	B=3.5m	B=4.m				
Arena con grava	2	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	1,6	0	27,6	96
Arena con grava	2,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	1,7	0	28,4	108
Arena con grava	2,5	1,7	1,7	1,8	1,5	1,3	1,1	1,7	0	31,1	156
Arena con grava	3	1,8	2,2	1,9	1,7	1,4	1,2	1,7	0	31,7	168
Arena con grava	3,5	1,8	2,5	2,0	1,6	1,4	1,2	1,7	0	31,7	168

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

**CIMENTACION CORRIDA - ESTRUCTURAS LIVIANAS ( ZONA DE PLATAFORMA EXISTENTE )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=0.8m	B=0.9m	B=1.0m	B=1.2m	B=1.3m	B=1.5m				
Roca Fracturada	<b>1,2</b>	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>1,5</b>	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>1,8</b>	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,0</b>	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,80	0,00	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,2</b>	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	1,80	0,00	35,5	300

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

**CIMENTACION CUADRADA – PORTICOS ( ZONA DE PLATAFORMA EXISTENTE )**

MATERIAL	B Df	q <sub>adm</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )						γ (g/cm <sup>3</sup> )	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		B=1.5m	B=2.m	B=2.5m	B=3.m	B=3.5m	B=4.m				
Roca Fracturada	<b>2,0</b>	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,2</b>	2,5	2,6	2,6	2,7	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>2,5</b>	2,8	2,9	2,9	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>3,0</b>	2,8	3,4	3,4	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300
Roca Fracturada	<b>3,8</b>	2,8	3,9	3,5	2,9	2,5	2,2	1,80	0,0	35,5	300

Df= Profundidad de cimentación (medido desde el nivel de piso terminado)

Donde:

- Df : Profundidad de cimentación.
- C : Cohesión
- φ : Angulo de Fricción
- q<sub>ad</sub> : Capacidad admisible determinada con parámetros de resistencia cortante.(Kg/cm<sup>2</sup>)
- Es : Módulo de elasticidad
- B : Ancho de la cimentación (m)
- γ : Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>)

- Ensayos Químicos

Con la finalidad de estimar el grado de agresividad del suelo hacia las estructuras de concreto y acero proyectadas, se realizaron los ensayos químicos consistente en la determinación en partes por millón de Sales Solubles Totales, Cloruros y Sulfato presentes en las calicatas C-1, C-2 y C-3.

**Cuadro N° 4.2**  
**Resumen de los Resultados de Ensayos Químicos**

<b>Ubicación</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Sales Solubles Totales (p.p.m)</b>	<b>Cloruros (p.p.m)</b>	<b>Sulfatos (p.p.m)</b>	<b>P.H.</b>
C-1	0,40 – 1,00	31,230.00	7,663.60	2,585.89	7,62
C-2	0,50 – 1,90	22,200.30	6,252.40	1,085.54	7,81
C-3	1,10 – 2,20	33,930.00	9,447.20	1,620.04	7,60

Los Registros de ensayos se adjuntan en anexo B: "Ensayos de Laboratorio".

Con respecto a la cantidad en p.p.m de sulfatos, existen tolerancias permisibles que se encuentran en el Reglamento Nacional de Edificaciones, los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio indican grado de alteración considerado de MODERADO a SEVERO, por lo que se recomienda usar Cemento tipo V.

Los cloruros producen corrosión a estructuras metálicas, al refuerzo de acero del concreto, etc. Con respecto a la cantidad en p.p.m de cloruros en las muestras de suelo analizados, los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio indican que se encuentran como PERJUDICIALES, por lo que es necesario proteger la estructura, colocando un protección (recubrimiento) del acero a colocarse. Además se recomienda que en la mezcla de concreto se reduzca la proporción de agua cemento.

Con respecto a las sales solubles totales, los valores obtenidos de los ensayos químicos en las muestras indican fuera de los límites permisibles es decir PERJUDICIAL; por lo que es necesario tomar las medidas necesarias para evitar la pérdida de resistencia mecánica por problemas de lixiviación. Se recomienda un buen sistema de drenaje, de modo que impida que el agua lave los finos, ocasionando la pérdida de resistencia del suelo.

- De los ensayos de Permeabilidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Resultados de los Ensayos de Permeabilidad de Campo**

Ubicación	Ensayos	K (cm/s)	Prof. (m)
C-3	P-3	$1,40 \times 10^{-2}$	1,50 – 1,60
C-4	P-4	$2,93 \times 10^{-2}$	2,60 – 2,70

Donde: K = Coeficiente de permeabilidad

De los resultados obtenidos se concluye que el suelo es permeable, por lo que se recomienda tener las consideraciones respectivas para las obras proyectadas.

- El sondeo que se hace en campo denominado registro de calicatas, si bien es un ensayo que permite ver la estratigrafía de la zona investigada, el registro que se obtiene es puntual, de dicho registro se ha obtenido diferentes espesores de relleno variando desde 0.40m hasta el 1.10m. Por lo tanto para efectos de establecer la profundidad de relleno que debe eliminarse y/o la que debe reemplazarse, debe obtenerse en la etapa de construcción con la respectiva aprobación del supervisor de la obra en conformidad a lo indicado en la Norma Técnica de Edificaciones E-050 en el Capítulo 4, acápite 4.3 "Profundidad de Cimentación" indica que no debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario y que estos materiales inadecuados deberán ser removidos en su totalidad, antes de construir la edificación y ser reemplazados con materiales que cumplan con lo indicado en el acápite 4.4.1. "Rellenos controlados o de ingeniería".
- En el proceso constructivo, se recomienda tomar las precauciones necesarias para proteger las paredes de las excavaciones y cimentaciones en general, mediante entibaciones y/o calzaduras con la finalidad de proteger a los operarios y evitar daños a terceros conforme lo indica la Norma E.050.

- El presente informe se aplica exclusivamente al área de evaluación de acuerdo a las condiciones actuales en que se realizaron las exploraciones geotécnicas - geológicas de campo ( 19 al 21 de Mayo del 2010).

## REFERENCIAS

Alva Hurtado J. (1992), "Mecánica de Suelos Aplicada a Cimentaciones", Capítulo de Estudiantes ACI-UNI, Lima.

Lambe T.W. y Whitman R.V. (1969), "Soil Mechanics", John Wiley, New York.

Terzaghi K. y Peck R.B. (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley, New York.

Vesic A. (1973), "Análisis de la Capacidad de Carga de Cimentaciones Superficiales", JSMFED, ASCE, Vol. 99.

Reglamento Nacional de Edificaciones, Diseño Sismorresistente E.030.

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica de Edificación E.050 "Suelos y Cimentaciones".

Mecánica de Suelos Aplicada a Cimentaciones Superficiales - Curso de Actualización Abril 2000. Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil.