

19
2ej.



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

FACULTAD DE INGENIERIA

**TRATAMIENTOS DE CIMENTACION
EN CORTINAS**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a

CARLOS AVIÑA SAN MARTIN



México, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNAH

FACULTAD DE INGENIERIA

**TRATAMIENTOS
DE CIMENTACION
EN CORTINAS**

CARLOS QUINA SAN MARTIN

INDICE

	<u>PAG</u>
<u>INTRODUCCION</u>	
<u>CAPITULO I</u>	
<u>GENERALIDADES</u>	1
<u>I.1 PROPIEDADES MECANICAS</u>	1
I.1.1 PERMEABILIDAD	2
I.1.1.1 TUBIFICACION	3
I.1.1.2 MEDIDAS PREVENTIVAS	7
I.1.2 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	10
I.1.2.1 DESLIZAMIENTO DE TALUDES	11
I.1.3 COMPRESIBILIDAD	11
I.1.3.1 FALLAS POR AGRIETAMIENTO	12
I.1.3.2 MEDIDAS PREVENTIVAS	13
<u>I.2 GEOLOGIA DE LA REPUBLICA MEXICANA</u>	16
I.2.1 MACROGEOLOGIA	16
I.2.2 GEOLOGIA LOCAL	20
<u>I.3 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO</u>	23
<u>CAPITULO II</u>	
<u>TRATAMIENTOS DE CIMENTACION EN ROCAS</u>	
<u>II.1 GENERALIDADES</u>	24
<u>II.2 INYECCIONES</u>	24
II.2.1 JUSTIFICACION DE LA NECESIDAD DE INYECTADO.	24

II.2.2 PRUEBAS NECESARIAS	25
II.2.3 PROCEDIMIENTOS DE INYECTADO	34
II.2.4 MEZCLAS	38
II.2.5 BARRENACION	41
II.2.6 PRESIONES DE INYECCION	45
II.2.7 EQUIPO	47
II.2.8 CONTROL	48
<u>II.3 TIPOS DE TRATAMIENTO</u>	50
II.3.1 PANTALLAS PROFUNDAS	50
II.3.2 TAPETES DE CONSOLIDACION	52
II.3.3 INYECCION DE CONTACTO	53
II.3.4 INYECCION DE EMPAQUE	53
II.3.5 RELLENO DE GRANDES OQUEDADES	53

CAPITULO III

TRATAMIENTO DE CIMENTACION EN SUELOS

<u>III.1 METODOS DE TRATAMIENTO</u>	57
III.1.1 PRECARGA	57
III.1.1.1 PRECARGA CON TIERRA	58
III.1.1.2 ESTRUCTURA Y CARGA DE OPERACION CONTROLADA.	59
III.1.2 PANTALLAS	60
III.1.3 COMPACTACION DINAMICA	66
III.1.4 CONSOLIDACION INDUCIDA	67
III.1.4.1 DRENES VERTICALES DE ARENA	68
III.1.4.2 DRENES PREFABRICADOS	68

III.1.5 VIBROFLOTACION	69
III.1.5.1 EN SUELOS COHESIVOS	71
III.1.6 METODO DE CONGELACION DE SUELOS	72
III.1.6.1 CONGELACION POR NITROGENO	73
III.1.6.2 CONGELACION A LA SALMUERA	74
III.1.7 INYECCION EN SUELOS	75

CAPITULO IV

ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PRESAS EN MEXICO SEGUN

SU CIMENTACION

IV.1 INSTRUMENTACION 86

IV.1.1 INCLINOMETROS 76

IV.1.2 DEFORMOMETROS 77

IV.1.3 NIVELES HIDRAULICOS 77

IV.1.4 EXTENSOMETROS LINEALES 78

IV.1.5 CELDAS DE PRESION 78

IV.1.6 PIEZOMETROS 79

IV.2 DIFERENTES CASOS QUE SE PRESENTAN EN CIMENTACIONES. 80

IV.2.1 PRIMER CASO
 DIQUE No 2 PRESA NETZAHUALCOYOTL 81

IV.2.2 SEGUNDO CASO
 CORTINA PRESA NETZAHUALCOYOTL 88

IV.2.3 TERCER CASO
 PRESA FRANCISCO ZARCO 92

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

PARA EL ANALISIS DEL TRATAMIENTO DE CIMENTACION EN CORTINAS, ESTE TRABAJO SE HA DIVIDIDO EN 4 PARTES:

LA PARTE I TRATA DE ENGLOBALAR LOS PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN UNA PRESA, DEBIDO A LOS CUALES SE HA DESARROLLADO EL TRATAMIENTO DE SU CIMENTACION; ADEMAS SE PRESENTA EN FORMA SIMPLIFICADA LA VARIEDAD DE GEOLOGIA QUE TIENE NUESTRO PAIS Y LO PROBLEMATICA QUE PUEDE SER EN LA CONSTRUCCION DE UNA CORTINA.

LA SEGUNDA PARTE DEL PRESENTE TRABAJO SE ENFOCA A LOS PRINCIPALES METODOS DE TRATAMIENTO EN ROCAS, INDICANDO SU UTILIDAD Y PROCESO CONSTRUCTIVO; CON ESPECIAL ATENCION EN EL METODO DE INYECCIONES QUE FORMA PARTE DEL PROCEDIMIENTO DE OTROS TRATAMIENTOS.

LA PARTE III MENCIONA DE IGUAL FORMA LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE CIMENTACION EN SUELOS Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS.

EL ULTIMO CAPITULO ES UN BREVE ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO INDICANDO EL TIPO DE CIMENTACION QUE SE UTILIZO; ADEMAS DE MENCIONAR LOS APARATOS MAS UTILIZADOS PARA MEDIR SUS MOVIMIENTOS.

EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO ES INTRODUCIR A LA GENTE NUEVA EN ESTE TIPO DE TRATAMIENTOS PUDIENDO TENER UNA IDEA GENERAL DE TODOS LOS METODOS MAS IMPORTANTES; POR LO QUE NO SE PROFUNDIZA DEMASIADO EN CADA UNO DE ELLOS.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

I. GENERALIDADES

PARA EFECTUAR EL DESPLANTE DE UNA PRESA, ES NECESARIO EJECUTAR CON ANTERIORIDAD DIVERSOS TRABAJOS QUE CONSTITUYEN EL TRATAMIENTO DE SU CIMENTACION. DEPENDIENDO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA ZONA, LAS FINALIDADES DE LA PRESA, Y EL TIPO DE CORTINA QUE SE VAYA A CONSTRUIR, SE DISEÑA EL TRATAMIENTO REQUERIDO, QUE VARIA EN CADA CASO EN PARTICULAR, PARA MEJORAR ESTAS PROPIEDADES Y LOGRAR CON ESTO QUE LA PRESA TENGA UN COMPORTAMIENTO DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL PROYECTO.

LA CIMENTACION PODRA ESTAR FORMADA POR SUELO O ROCA, Y EL TRATAMIENTO EN CADA UNO DE ESTOS CASOS SERA DIFERENTE, COMO SE ANALIZARA POSTERIORMENTE, AUNQUE CON UN MISMO OBJETIVO: PROPORCIONAR A LA CORTINA UNA SUPERFICIE ADECUADA PARA SU DESPLANTE.

I.1 PROPIEDADES MECANICAS

DEBE TOMARSE EN CUENTA QUE TODA CORTINA SE CONSTRUYE SOBRE FORMACIONES GEOLOGICAS QUE ERAN ESTABLES ANTES DE LA CONSTRUCCION DE ESTA, PERO QUE AL PONERSE EN OPERACION, ESTARAN SUJETAS A CONDICIONES DIFERENTES ORIGINADAS POR EL PESO DE LA CORTINA Y POR EL EMBALSE QUE SE PROVOCARA; ESTOS FACTORES PUEDEN OCASIONAR PROBLEMAS DE ESTABILIDAD, Y POR LO TANTO SERA NECESARIO EFECTUAR TODAS LAS MEDIDAS PREVENTIVAS QUE AYUDEN A QUE EL SUELO O ROCA SOPORTEN LOS CAMBIOS EN LAS CONDICIONES ORIGINALES.

LAS PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS "IN SITU" QUE SE DEBEN CONOCER, DE LA MASA DE ROCA O SUELO, PARA DESARROLLAR EL DISEÑO DE UNA CORTINA SON LAS SIGUIENTES:

A) PERMEABILIDAD

B) RESISTENCIA AL CORTE

C) COMPRESIBILIDAD

LAS CUALES SE TRATARAN EN SEGUIDA, MENCIONANDO LOS PRINCIPALES PROBLEMAS QUE OCASIONAN EN LA CIMENTACION.

I.1.1 PERMEABILIDAD

SE DEBEN TRATAR DE ELIMINAR LAS FILTRACIONES, PARA EVITAR QUE SIGNIFIQUEN UN PELIGRO POTENCIAL PARA LA SEGURIDAD DE LA PRESA; SI ESTO NO ES POSIBLE POR RAZONES TECNICAS O ECONOMICAS, CONVENDRAN REDUCIRSE AL MINIMO EN RELACION CON LA CAPACIDAD DEL ALMACENAMIENTO, CON EL OBJETO DE QUE NO DISMINUYAN LOS BENEFICIOS DE LA OBRA; AUN ASI, SERA NECESARIO TENER LA SEGURIDAD DE NO PONER EN PELIGRO LA ESTABILIDAD DE LA CORTINA, PARA LO CUAL, DEBERAN PREVERSE EN EL DISEÑO LOS DISPOSITIVOS NECESARIOS, QUE EVITEN ARRASTRE DE MATERIALES FINOS QUE PUEDAN PROVOCAR TUBIFICACION.

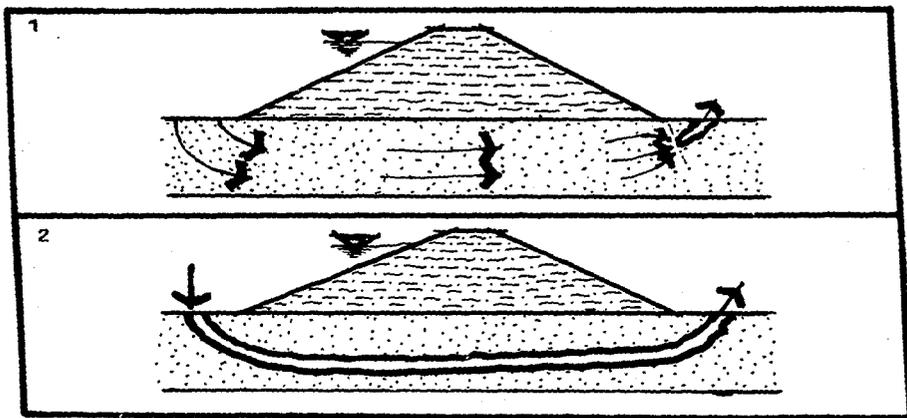
SE LLAMA PERMEABILIDAD DE UN SUELO A LA FACILIDAD CON QUE EL AGUA PUEDE FLUIR A TRAVES DE SUS POROS. POR LO TANTO ES LOGICO QUE EL AGUA FLUYE CON MAYOR FACILIDAD A TRAVES DE UN SUELO, O ROCA BAJO LA MISMA CARGA HIDRAULICA, MIENTRAS MAYOR SEA EL TAMAÑO DE SUS POROS. SE ACOSTUMBRA LLAMAR MATERIALES PERMEABLES A

LAS ARENAS Y GRAVAS LIMPIAS, CANTOS RODADOS, ENROCAMIENTOS; Y SUELOS IMPERMEABLES A LAS ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD Y A TODOS LOS SUELOS CUYO CONTENIDO DE ARCILLA ES TAL QUE ESTA SELLA LOS HUECOS QUE DEJAN LOS GRANOS DE TAMAÑO MAYOR. A LOS SUELOS EN LOS QUE EL AGUA FLUYE A UNA VELOCIDAD INTERMEDIA SE LES LLAMA SEMI-PERMEABLES.

EL FENOMENO PROVOCADO POR LA PERMEABILIDAD QUE MAYORES PELIGROS PRESENTA ES LA TUBIFICACION.

1.1.1.1 TUBIFICACION

AL ALMACENARSE EL AGUA EN UNA PRESA, UNA PARTE DE DICHA AGUA COMIENZA A FILTRARSE A TRAVES DE SU CIMENTACION SIGUIENDO TRAYECTORIAS QUE SE INICIAN EN EL LADO DE AGUAS ARRIBA, Y TERMINAN EN EL LADO DE AGUAS ABAJO COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA.



COMO YA VIMOS, LA VELOCIDAD DEL FLUJO, Y EL GASTO DE FILTRACION DEPENDEN PRINCIPALMENTE DE LA PERMEABILIDAD DE LA ZONA. EN ALGUNOS CASOS LA VELOCIDAD DEL AGUA A LA SALIDA ES SUFICIENTE PARA PROVOCAR EN ESA PARTE EL ARRASTRE DE PARTICULAS DE SUELO, INICIANDOSE ASI LA FORMACION DE UN TUBO QUE PROGRESA HACIA AGUAS ARIIBA HASTA QUE ALCANZA A ESTABLECER COMUNICACION ENTRE AMBOS LADOS.

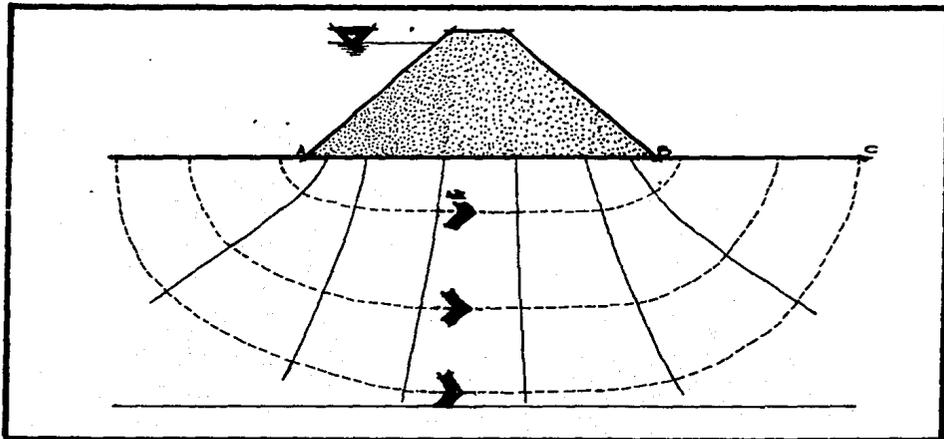
AL ENTRAR EL AGUA Y FLUIR EN EL TUBO, ARRASTRA ALGUNAS PARTICULAS DEL MATERIAL DE SUS PAREDES, AMPLIANDO CONSIDERABLEMENTE LA SECCION DE ESTE.

ESTE TRABAJO EROSIVO PROGRESA RAPIDAMENTE, Y PUEDE LLEGAR A PROVOCAR LA FALLA COMPLETA DE LA PRESA. A ESTE TIPO DE FALLAS SE LES LLAMA "FALLAS POR TUBIFICACION".

AUN ASI, NO TODOS LOS SUELOS SON IGUALMENTE SUSCEPTIBLES A LA TUBIFICACION, ESTA SUSCEPTIBILIDAD DEPENDE DE LA ADHERENCIA QUE EXISTA ENTRE LAS PARTICULAS QUE CONSTITUYEN AL SUELO Y DEL TAMANO Y PESO DE CADA PARTICULA, POR LO TANTO LAS ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD SON POCO SUSCEPTIBLES A LA TUBIFICACION, YA QUE PRESENTAN CIERTA OPOSICION A SER ARRASTRADAS POR EL AGUA, Y LAS GRAVAS, ARENAS Y CANTOS RODADOS TAMPOCO LO SON DEBIDO A QUE EL PESO DE LAS PARTICULAS SE OPONE AL ARRASTRE, A MENOS QUE EL AGUA FLUYA A UNA VELOCIDAD CONSIDERABLE; EN CAMBIO, LOS SUELOS FORMADOS POR GRANOS PEQUEÑOS DE POCO PESO, Y QUE CARECEN DE COHERENCIA, COMO LAS ARENAS FINAS Y LOS LIMOS DE BAJA PLASTICIDAD, PRESENTAN LA MINIMA RESISTENCIA A LA EROSION, Y POR

LO TANTO LA MAXIMA SUSCEPTIBILIDAD A LA FALLA POR TUBIFICACION.

ASI PUES, ES EVIDENTE QUE AL DISEÑAR UNA PRESA ES NECESARIO DISPONER DE UN PROCEDIMIENTO QUE NOS PERMITA CONOCER LA TRAYECTORIA QUE SIGUEN LAS PARTICULAS DE AGUA AL FLUIR A TRAVES DE LA CIMENTACION.



LA FIGURA ILUSTRA LA SOLUCION GRAFICA DE LA RED DE FLUJO, PARA EL CASO DE UNA CORTINA IMPERMEABLE, SOBRE UN DEPOSITO PERMEABLE, DONDE:

-LA LINEA A-B ES LA FRONTERA IMPERMEABLE DE CONTACTO ENTRE LOS DOS MEDIOS.

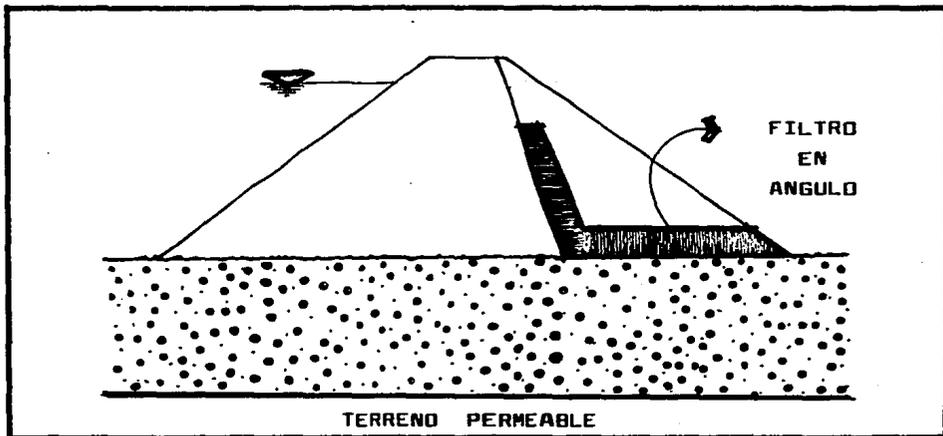
-LAS LINEAS CONTINUAS TIENEN COMO PROPIEDAD FUNDAMENTAL QUE EN CUALQUIERA DE SUS PUNTOS LA ENERGIA POTENCIAL ES CONSTANTE, POR LO QUE SE LLAMAN EQUIPOTENCIALES.

I.1.1.2. MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA LA TUBIFICACION.

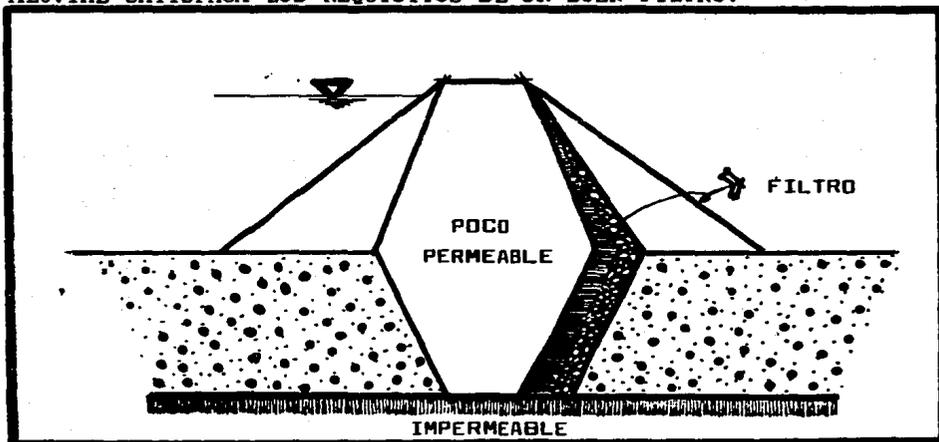
PUESTO QUE EL FENOMENO DE LA TUBIFICACION SE INICIA CON EL ARRASTRE DEL MATERIAL EN EL LADO DE AGUAS ABAJO, TODAS LAS MEDIDAS USADAS PARA EVITAR EL FENOMENO SE CONCRETAN A CONTROLAR EL ARRASTRE DEL MATERIAL EN ESE LADO, MEDIANTE EL EMPLEO DE FILTROS CONSTITUIDOS POR MATERIALES PERMEABLES.

LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN UN FILTRO DEBEN SATISFACER CIERTAS CONDICIONES CON OBJETO DE ASEGURAR QUE EL FILTRO CUMPLA SUS FUNCIONES; POR UNA PARTE, DEBE PERMITIR EL LIBRE PASO DEL GASTO DE AGUA PRODUCIDO POR EL MATERIAL AL QUE PROTEGE, Y POR OTRA, EVITAR EL PASO DE LAS PARTICULAS QUE CONSTITUYEN AL MATERIAL PROTEGIDO; LOS FILTROS TIENEN DIVERSAS FORMAS DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES QUE SE PRESENTEN, POR EJEMPLO:

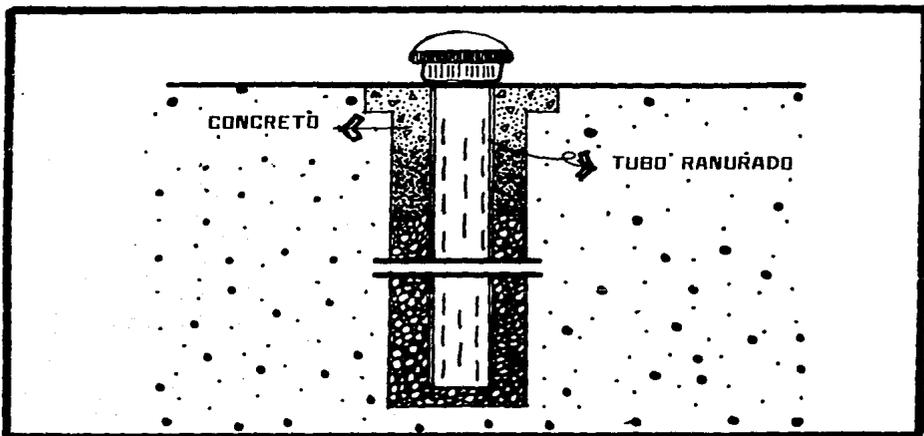
A) CUANDO LA PRESA ESTA DESPLANTADA SOBRE DEPOSITOS ALUVIALES DE ALTA PERMEABILIDAD Y LA SECCION ES DEL TIPO "FLOTANTE", ES DECIR, NO EXISTE NINGUN ELEMENTO IMPERMEABLE QUE INTERCEPTE LAS FILTRACIONES A TRAVES DE LA CIMENTACION (SEGUN SE ILUSTRA EN LA FIGURA) SE NECESITA UN FILTRO EN ANGULO QUE PERMITA CONTROLAR EL FLUJO, TANTO A TRAVES DEL CORAZON IMPERMEABLE COMO DE LA CIMENTACION. LA SECCION HORIZONTAL DEL FILTRO EN ANGULO, CONSTITUYE EN ESTOS CASOS UNA PARTE MUY IMPORTANTE DEL FILTRO Y DEBE SER CUIDADOSAMENTE DISEÑADA Y CONSTRUIDA, PARA EVITAR QUE PENETRE A LA CORTINA EL FLUJO DE AGUA PROVENIENTE DE LA CIMENTACION.



B) SECCIONES MIXTAS CON TRINCHERA IMPERMEABLE, ESTO ES CUANDO LOS DEPOSITOS ALUVIALES PERMEABLES SON INTERCEPTADOS POR UNA TRINCHERA IMPERMEABLE (FIGURA), EN ESTOS CASOS DEBE COLOCARSE UN FILTRO QUE PROTEJA A LOS TALUDES DE AGUAS ABAJO DEL CORAZON IMPERMEABLE Y DE LA TRINCHERA; EL FILTRO DE LA TRINCHERA PODRA SUPRIMIRSE EN AQUELLOS CASOS EN QUE EL MATERIAL DEL DEPOSITO ALUVIAL SATISFAGA LOS REQUISITOS DE UN BUEN FILTRO.



C) POZOS DE ALIVIO: EN ALGUNOS CASOS LA CIMENTACION ESTA CONSTITUIDA POR DEPOSITOS ESTRATIFICADOS EN LOS QUE SE ENCUENTRAN ESTRATOS PERMEABLES ALTERNADOS CON OTROS IMPERMEABLES; TAL SITUACION FAVORECE EL DESARROLLO DE IMPORTANTES PRESIONES EN EL INTERIOR DE LOS ESTRATOS PERMEABLES, QUE PUEDEN PRODUCIR LA RUPTURA BRUSCA DE CAPAS IMPERMEABLES SUPERFICIALES, COMO SE ILUSTR A EN LA FIGURA DANDO LUGAR A UNA GRIETA EN EL MATERIAL IMPERMEABLE, A TRAVES DEL CUAL SE CONCENTRARA EL FLUJO ADQUIRIENDO VELOCIDADES IMPORTANTES DE DESCARGA E INICIANDOSE AHI LA FALLA POR TUBIFICACION.



EN ESTOS CASOS SE RECURRE A LA INSTALACION DE DRENES VERTICALES A TRAVES DE LOS CUALES SE ALIVIA LA PRESION QUE PUDIERA DESARROLLARSE BAJO LOS ESTRATOS IMPERMEABLES; ESTOS DRENES SERAN INSTALADOS A UNA CORTA DISTANCIA DEL PIE DEL TALUD

DE AGUAS ABAJO Y RECIBEN EL NOMBRE DE POZOS DE ALIVIO.

I.1.2. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.

LOS TALUDES DE LA CORTINA DEBEN SER ESTABLES, TANTO DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION, COMO DURANTE EL PERIODO DE OPERACION DE LA PRESA.

PARA SATISFACER ESTA CONDICION EN LO QUE RESPECTA A LA CIMENTACION, LA CORTINA DEBERA DISEÑARSE TOMANDO EN CUENTA LA RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES EN QUE SE CIMENTARA EN LAS CONDICIONES MAS DESFAVORABLES, PRINCIPALMENTE SI SE ENCUENTRAN INTEMPERIZADAS O FRACTURADAS POR EFECTO DE FALLAS.

AL SOMETER UNA MASA DE SUELO A ESFUERZOS CORTANTES, SE PRODUCEN DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS ENTRE SUS PARTICULAS; LA OPOSICION QUE OFRECEN A ESTE DESPLAZAMIENTO RELATIVO SE DENOMINA "RESISTENCIA AL CORTANTE"; PUESTO QUE LA RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO DE LAS PARTICULAS DEPENDE DE LA INTERACCION DE UNAS SOBRE OTRAS, LA NATURALEZA DE ESTAS INTERACCIONES SERA LA QUE DETERMINE LA RESISTENCIA.

EN LOS SUELOS GRANULARES, CONSTITUIDOS PRINCIPALMENTE POR PARTICULAS MACROSCOPICAS, LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE PARECE DERIVAR EXCLUSIVAMENTE, DE EFECTOS DE FRICCION ENTRE LOS GRANOS, MIENTRAS QUE EN AQUELLOS EN LOS QUE PREDOMINA LA FRICCION COLOIDAL, LA RESISTENCIA DEPENDE DE LAS FUERZAS ATRACTIVAS Y REPULSIVAS QUE SE EJERCEN ENTRE PARTICULAS; DE AQUI LA DISTINCION BASICA ENTRE SUELOS FRICCIONANTES Y SUELOS COHESIVOS.

UN TERCER GRUPO DE SUELOS EN LO QUE SE REFIERE A SU RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, ES EL DENOMINADO "SUELOS INTERMEDIOS", FORMADO POR UNA MEZCLA DE PARTICULAS GRANULARES GRUESAS, FINAS Y COLOIDALES; EN ELLOS LA RESISTENCIA AL CORTE ES UNA COMBINACION DE AMBOS EFECTOS.

I.1.2.1. DESLIZAMIENTO DE LOS TALUDES.

LOS ESFUERZOS CORTANTES ORIGINADOS POR EL PROPIO PESO DE LA PRESA Y LAS FUERZAS DE FILTRACION, NO DEBEN EXCEDER LOS ESFUERZOS CORTANTES QUE LOS MATERIALES DEL TERRAPLEN Y LA CIMENTACION SEAN CAPACES DE SOPORTAR, PARA EVITAR UNA FALLA EN LOS TALUDES AUN EN LAS CONDICIONES MAS DESFAVORABLES, POR EL CONTRARIO, LA RESISTENCIA AL CORTE DEBE SER SUPERIOR A LOS ESFUERZOS IMPUESTOS, CON EL FIN DE DISPONER DE UN MARGEN DE SEGURIDAD.

I.1.3. COMPRESIBILIDAD.

DEBEN EVITARSE LOS ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES DE LA ZONA IMPERMEABLE DE LA CORTINA EN VIRTUD DE QUE PUEDEN PROVOCAR AGRIETAMIENTOS EN EL CUERPO DE ESTA QUE MOTIVEN FILTRACIONES PELIGROSAS CUANDO DICHAS GRIETAS SE ORIGINEN EN EL SENTIDO TRANSVERSAL AL EJE DE LA CORTINA; PARA EVITARLO SERA NECESARIO ADEMAS DE MEJORAR LA GEOMETRIA DE LA BOQUILLA HASTA DONDE SEA ECONOMICO, REMOVER LA CIMENTACION DE LAS LADERAS TODOS LOS MATERIALES INESTABLES QUE PUEDAN PROVOCAR ASENTAMIENTOS

DEBIENDO POR CONVENIENCIA TOMAR TODAS LAS PRECAUCIONES NECESARIAS PARA QUE EN EL CASO DE QUE OCURRAN AGRIETAMIENTOS Y SE PRODUZCAN FILTRACIONES, ESTAS QUEDEN CONTROLADAS POR MEDIO DE UN SISTEMA DE FILTROS QUE IMPIDAN LA EMIGRACION DE PARTICULAS FINAS DEL CORAZON IMPERMEABLE Y DE LA PROPIA CIMENTACION.

I.1.3.1. FALLAS POR AGRIETAMIENTO.

DESPUES DE CONSTRUIDA UNA PRESA DE TIERRA, SE PRODUCEN ASENTAMIENTOS DE LA CORONA QUE VARIAN DE MAGNITUD A LO LARGO DEL EJE DE LA PRESA, ALCANZANDO SUS VALORES MAXIMOS GENERALMENTE DONDE LA CIMENTACION ESTA FORMADA POR MATERIALES DE ALTA COMPRESIBILIDAD.

EN ALGUNOS CASOS EL ASENTAMIENTO SE DESARROLLA EN UN TIEMPO RELATIVAMENTE CORTO, DURANTE EL PRIMER LLENADO DEL VASO, EN CUANTO LOS MATERIALES DE LA PRESA ENTRAN EN CONTACTO CON EL AGUA, EN OTRAS OCASIONES ES UN PROCESO LENTO QUE TOMA ALGUNOS AÑOS. CUANDO LOS ASENTAMIENTOS DE LA CORONA LLEGAN A SER MUY DIFERENTES DE UN PUNTO A OTRO, SE GENERAN TENSIONES EN EL CUERPO DE LA PRESA, QUE PRODUCEN GRIETAS; SI ESTAS GRIETAS SON TRANSVERSALES AL EJE DE LA CORTINA Y SE PRESENTAN CUANDO EL VASO ESTA LLENO, EL AGUA AL ESCURRIR EN ELLAS LAS AMPLIA POR EROSION DE SUS PAREDES Y ACABA POR DESTRUIR PARCIAL O TOTALMENTE LA PRESA; EL PROCESO DESTRUCTIVO PUEDE DURAR ALGUNAS HORAS O VARIOS DIAS, DEPENDIENDO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS MATERIALES A LA EROSION.

LOS SUELOS, COMO TODOS LOS OTROS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION, SUFREN DEFORMACIONES BAJO EL EFECTO DE UN ESFUERZO APLICADO, PERO A DIFERENCIA DE ESTOS ULTIMOS, CUYA MAYORIA SE CONSIDERAN ELASTICOS, EN LOS PRIMEROS LA RELACION QUE EXISTE ENTRE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES ES MAS COMPLICADA.

LA DEFORMACION QUE SUFRE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO BAJO EL EFECTO DE UNA FUERZA SE DEBE A TRES DIFERENTES CAUSAS:

- 1.-DEFORMACION DE LAS PARTICULAS.
- 2.-DEFORMACION DEL AGUA Y LOS GASES (fluidos del suelo).
- 3.-REACOMODACION DE LAS PARTICULAS POR DESLIZAMIENTO DE UNAS SOBRE OTRAS.

RESULTA EVIDENTE ENTONCES, QUE PARA ENTENDER MEJOR EL MECANISMO DE LOS AGRIETAMIENTOS ES INDISPENSABLE PRECISAR ALGUNAS IDEAS EN RELACION CON LA COMPACTACION Y LA COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS Y SU HABILIDAD PARA ADAPTARSE A LOS ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES SIN AGRIETARSE; ES DECIR, LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO.

I.1.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS CONTRA EL AGRIETAMIENTO.

PUESTO QUE EL FENOMENO DE AGRIETAMIENTO TIENE SU ORIGEN EN LA PRODUCCION DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES, ES EVIDENTE QUE LAS MEDIDAS QUE SE TOMEN CONTRA FALLAS DE ESTA CLASE ESTEN ENFOCADAS PRINCIPALMENTE HACIA LA REDUCCION DE DICHOS ASENTAMIENTOS;PERO POR OTRA PARTE NO SIEMPRE ES POSIBLE REDUCIR LOS ASENTAMIENTOS EN FORMA IMPORTANTE. SE REQUIERE ENTONCES OTRO TIPO DE MEDIDAS

PRECAUTORIAS PARA EVITAR SUS CONSECUENCIAS.

LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES CONDUCE A ADOPTAR LAS SIGUIENTES NORMAS PARA PREVENIR LAS FALLAS POR AGRIETAMIENTO:

1.-ES CONVENIENTE COLOCAR LOS MATERIALES DE LA ZONA IMPERMEABLE CON EL MAXIMO PESO VOLUMETRICO QUE PERMITA EL EQUIPO DE COMPACTACION, DENTRO DE LOS LIMITES ECONOMICOS; DE ESTE MODO SE LOGRA REDUCIR LA COMPRESIBILIDAD DE LOS SUELOS Y POR CONSIGUIENTE LOS ASENTAMIENTOS POR COMPRESION DEL TERRAPLEN.

2.-SI EN LA CIMENTACION DE LA PRESA EXISTEN SUELOS FINOS, COMPRESIBLES Y SE PREVE QUE ESTA SUFRIRA ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES POSTERIORES A LA TERMINACION, POR CONSOLIDACION DE LA CIMENTACION, PUEDE SER CONVENIENTE COLOCAR LOS MATERIALES IMPERMEABLES CON UN ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD, PARA LOGRAR UNA MAYOR ADAPTABILIDAD DE ESTOS A LAS DEFORMACIONES DIFERENCIALES.

CABE AGREGAR QUE ESTE TIPO DE PROBLEMA ES MAS AGUDO CUANDO LA PRESA ESTA CONSTRUIDA EN UNA BOQUILLA CON LADERAS FUERTEMENTE ESCARPADAS O CON CAMBIOS BRUSCOS DE PENDIENTE, YA QUE ESTA SITUACION FAVORECE NOTABLEMENTE EL DESARROLLO DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES A LO LARGO DEL EJE DE LA CORTINA, POR LO QUE SE TENDRA QUE REALIZAR UNA REGULARIZACION DE LAS LADERAS.

ESTA FASE DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE LA CIMENTACION TIENE POR OBJETO CORREGIR LA DIVERGENCIA DE LAS LADERAS HACIA AGUAS ABAJO Y EL PERFIL TRANSVERSAL DE LA ROCA, ELIMINANDO DESPLOMES Y ESCALONES.

CUANDO LOS EMPOTRAMIENTOS EN EL SITIO DE UNA PRESA SE ABREN HACIA AGUAS ABAJO Y LA BOQUILLA ESTA UBICADA EN UN CAÑON ESTRECHO, LAS CONDICIONES DE APOYO DEL CORAZON IMPERMEABLE SON DESFAVORABLES PORQUE UN DESPLAZAMIENTO DE LA DIRECCION DEL RIO TIENDE A DESPEGAR LA ESTRUCTURA DE LAS LADERAS; EN ESTOS CASOS ES RECOMENDABLE:

A) BUSCAR UNA LOCALIZACION MAS APROPIADA PARA EL EJE.

B) CAMBIAR LA ORIENTACION DEL EJE, CUANDO ELLO CONDUCE A UNA MEJOR POSICION DE LA TRAZA DEL NUCLEO EN EL EMPOTRAMIENTO.

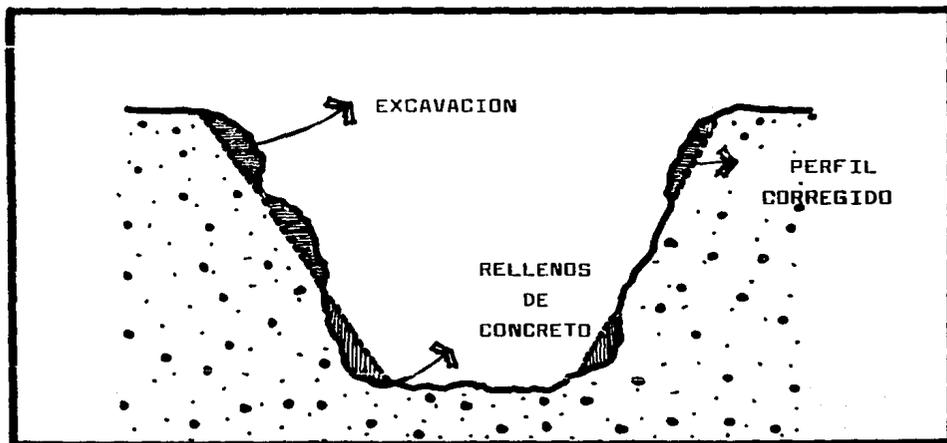
C) REALIZAR EXCAVACIONES EN LAS LADERAS PARA EVITAR LA CONDICION ANTERIORMENTE SENALADA.

EN GENERAL, UNA COMBINACION DE LAS ALTERNATIVAS ANTERIORES DA LOS RESULTADOS MAS CONVENIENTES; LA REVISION EN EL DISEÑO SE DEBERA EFECTUAR UNA VEZ TERMINADA LA LIMPIA DE LA CIMENTACION Y OBTENIDA LA TOPOGRAFIA REAL DEL SITIO.

ES FRECUENTE QUE AL TERMINO DE LA LIMPIA SUPERFICIAL SE ENCUENTREN SECCIONES TRANSVERSALES CON CAMBIOS BRUSCOS DE PENDIENTE EN LA BOQUILLA, EN ESTOS CASOS, SI NO SE HACE NINGUN TRATAMIENTO ES POSIBLE QUE SE PRODUZCAN GRIETAS POR ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN EL CORAZON IMPERMEABLE.

LAS SOLUCIONES MAS ECONOMICAS A ESTE PROBLEMA CONSISTEN EN EXCAVACIONES, RELLENOS DE CONCRETO O REPOSICION DE LA ROCA POR CONCRETO PARA OBTENER UNA SUPERFICIE DE APOYO MAS REGULAR EN EL CORAZON IMPERMEABLE.

LA PRESENCIA DE CAMBIOS BRUSCOS DE PENDIENTE, ESCALONES Y DEPRESIONES AUNQUE SEAN LOCALES, PUEDEN SER LA CAUSA DE UN AGRIETAMIENTO DEL NUCLEO IMPERMEABLE.



I.2 GEOLOGIA DE LA REPUBLICA MEXICANA

I.2.1. MACROGEOLOGIA

LAS ROCAS POR SU ORIGEN SE CLASIFICAN EN : IGNEAS, SEDIMENTARIAS Y METAMORFICAS.

LAS ROCAS IGNEAS SE CLASIFICAN A SU VEZ EN INTRUSIVAS Y EXTRUSIVAS; LAS ROCAS INTRUSIVAS, LLAMADAS TAMBIEN PLUTONICAS, SON LAS QUE SE CONSOLIDARON EN LA PROFUNDIDAD DE LA TIERRA POR ENFRIAMIENTO LENTO DEL MAGMA; EJEMPLOS DE ESTA CLASE DE ROCAS SON EL GRANITO, LA DIORITA Y EL GABRO.

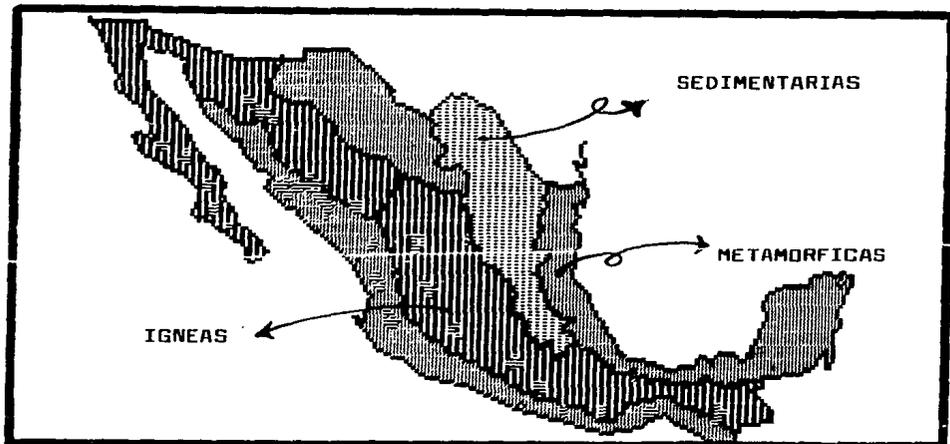
LAS ROCAS EXTRUSIVAS DENOMINADAS IGUALMENTE VOLCANICAS, EFUSIVAS O ERUPTIVAS; ENTRE LAS QUE FIGURAN EL BASALTO, LA RIOLITA, LA ANDESITA Y LAS TOBAS; SE ORIGINARON POR ENFRIAMIENTO RAPIDO EN EL EXTERIOR DE LA TIERRA Y PROVIENEN DE MATERIALES IGNEOS QUE BROTORON A LA SUPERFICIE POR GRIETAS O ERUPCIONES VOLCANICAS.

LAS ROCAS SEDIMENTARIAS TIENEN SU ORIGEN EN LA EROSION, Y ESTAN FORMADAS POR LA DESINTEGRACION DE OTRAS ROCAS, SE HALLAN DISPUESTAS EN FORMA DE CAPAS O ESTRATOS Y ESTAN CONSTITUIDAS POR SEDIMENTOS ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRAN LA ARENA, GRAVA, ARCILLA Y CALIZA. OTRAS ROCAS SEDIMENTARIAS SE HAN FORMADO MEDIANTE PROCESOS QUIMICOS COMO SUCEDE CON LA SAL, GEMA Y YESO.

LAS ROCAS METAMORFICAS ORIGINALMENTE FUERON IGNEAS O SEDIMENTARIAS Y SE FORMARON DEBIDO A CAMBIOS EN LAS ROCAS PRIMITIVAS POR LA ACCION DEL CALOR, DE LA PRESION O DE LA HUMEDAD. ENTRE LAS ROCAS METAMORFICAS QUE PROCEDEN DE LAS IGNEAS, ESTAN LAS GNEIS Y LOS ESQUISTOS, Y ENTRE LAS QUE SE DEBEN A LAS ROCAS SEDIMENTARIAS SE HALLAN EL MARMOL Y LA CUARCITA.

DE ACUERDO CON ESTOS DATOS ES POSIBLE AFIRMAR EN SINTESIS, QUE LAS ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS PREDOMINAN EN EL OESTE, SUR Y

CENTRO DEL PAIS, EN TANTO QUE LAS SEDIMENTARIAS SE OBSERVAN EN AREAS MUY AMPLIAS DEL ESTE, SOBRE LAS LLANURAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO Y LA PENINSULA DE YUCATAN.



PRACTICAMENTE EN TODA LA ALTIPLANICIE DEL PAIS, EN VARIAS ZONAS AL SUR DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC, ASI COMO EN AMPLIAS ZONAS DEL NORTE, ENCONTRAMOS FORMACIONES IGNEAS EXTRUSIVAS Y PODEMOS ASEGURAR QUE EN GENERAL TODAS ELLAS ESTAN FRACTURADAS DEBIDO A ENFRIAMIENTO BRUSCO DE LA LAVA, Y TAMBIEN POR EFECTOS SISMICOS Y DE ACOMODO DE LA CORTEZA TERRESTRE.

LAS FORMACIONES DE CALIZAS SON LAS QUE PLANTEAN MAYORES PROBLEMAS PARA LA CIMENTACION DE CORTINAS DE CUALQUIER TIPO, DEBIDO AL GRADO DE CAVERNOSIDAD QUE PUEDEN PRESENTAR, LO QUE MOTIVA PROBLEMAS DE PERMEABILIDAD, QUE EN MUCHOS CASOS SON DIFICILES DE TRATAR.

EN SEGUNDO TERMINO SE TIENEN LAS ROCAS VOLCANICAS, PRINCIPALMENTE LOS BASALTOS, POR SU HETEROGENEIDAD O POR SU ALTO GRADO DE FRACTURAMIENTO O AMBOS.

EN MUCHAS OCASIONES LAS FRACTURAS EN ESTAS ROCAS ESTAN ABIERTAS, PERO TAMBIEN ES FRECUENTE QUE SE ENCUENTREN RELLENAS DE CENIZAS VOLCANICAS O MATERIALES BRECHOSOS; SI ESTOS MATERIALES SUAVES NO ESTAN CONFINADOS, AL SATURARSE PUEDEN PLANTEAR PROBLEMAS DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES O BIEN FILTRACIONES POR LA EXPULSION DE LOS MATERIALES EROSIONABLES, LO QUE PUEDE SIGNIFICAR UN PELIGRO POTENCIAL PARA LA ESTRUCTURA. ES TAMBIEN COMUN ENCONTRAR EN LOS BASALTOS CAVIDADES Y TUNELES ABIERTOS QUE SI NO SE LOCALIZAN PUEDEN PLANTEAR PROBLEMAS DE FILTRACIONES PELIGROSAS.

EN EL CASO DE NUESTRO PAIS, POR LA ABUNDANCIA DE ESTOS DOS TIPOS DE ROCA, CALIZAS Y BASALTOS QUE CUBREN TERRITORIOS MUY AMPLIOS SE HAN PLANTEADO PROBLEMAS EN EL TRATAMIENTO DE CIMENTACIONES.

EN FORMA SEMEJANTE, LA HUMEDAD DENTRO DE UNA FORMACION ROCOSA PUEDE DETERMINAR DIFERENCIAS EN SU RESISTENCIA AL ATAQUE DE ELEMENTOS EXTERNOS. COMO EJEMPLO DE ELLO PODEMOS CITAR EL CASO DE LAS LUTITAS. ESTAS ROCAS, QUE HAN ESTADO DURANTE SIGLOS SUJETAS A CIERTAS CONDICIONES DE HUMEDAD, PRESENTAN CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA AL CORTE MUY DIFERENTES CUANDO SE VARIA LA CONDICION A LA QUE HAN ESTADO SUJETAS DURANTE SIGLOS.

EN EL CASO DE CIMENTACIONES DE LUTITAS DEBEN DETERMINARSE CON EXTREMO CUIDADO LA RESISTENCIA AL CORTE Y TOMAR UN FACTOR DE

SEGURIDAD AMPLIO EN VIRTUD DE QUE SON FORMACIONES PELIGROSAS ESPECIALMENTE SI ESTAN FISURADAS.

EN GENERAL, PODEMOS DECIR QUE EN MEXICO, DIFICILMENTE ENCONTRAREMOS ZONAS ROCOSAS AMPLIAS QUE TENGAN CARACTERISTICAS HOMOGENEAS. AUN DENTRO DE ESPECIMENES RELATIVAMENTE PEQUEÑOS, ENCONTRAREMOS HETEROGENEIDADES MUY MARCADAS. ESTAS CARACTERISTICAS, PUEDEN SER MORFOLOGICAS, ESTRUCTURAL O DE COMPOSICION ,Y POR LO TANTO, NO DEBEMOS BASAR NUESTROS ESTUDIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS DE SUS COMPONENTES BASICOS QUE NO PUDIERA SER REPRESENTATIVO DE SU COMPOSICION SINO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO INFLUENCIADO POR LOS AGENTES MECANICOS O CARGAS A QUE VA A ESTAR SUJETO.

1.2.2 GEOLOGIA LOCAL

LA VARIEDAD DE TIPOS DE ROCAS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS CIMENTACIONES ES MUY NUMEROSA Y DENTRO DE UNA MISMA CLASIFICACION SE PUEDEN TENER PROBLEMAS DIFERENTES PRINCIPALMENTE POR SU GRADO DE ALTERACION, POR SUS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y POR LAS DISCORDANCIAS QUE PRESENTAN.

LO ANTERIOR INDICA QUE LOS TRABAJOS DE CIMENTACION NO ESTAN SUJETOS A REGLAS GENERALES, SINO QUE CADA BOQUILLA REQUIERE UN TRATAMIENTO ESPECIAL.

SI LA ROCA EN SU CONJUNTO ES COMPACTA, UNIFORME Y SANA Y LAS EXPLORACIONES GEOLOGICAS MUESTRAN QUE A PROFUNDIDADES PERSISTE

ESTA CONDICION, ES OBVIO QUE EL TRATAMIENTO QUE SE NECESITA PODRA SER INSIGNIFICANTE; INVERSAMENTE, SI LA ROCA DE CIMENTACION ES HETEROGENEA, INTEMPERIZADA, FRACTURADA, FALLADA O PRESENTA GRAN CAVERNOSIDAD, SE NECESITARA UN TRATAMIENTO ESPECIAL QUE PODRA SER MUY LABORIOSO Y COSTOSO.

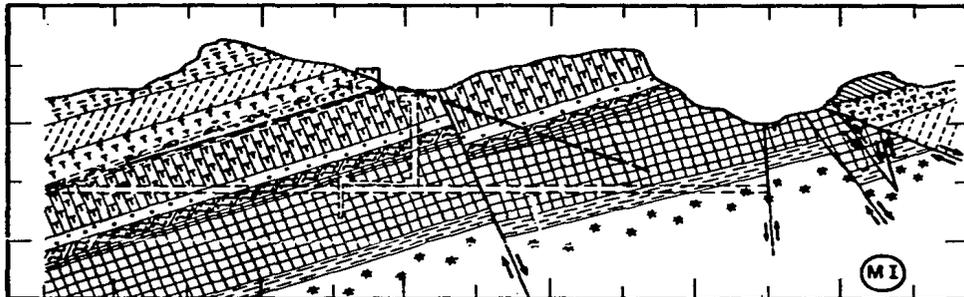
LA CONDICION ULTIMA ES LA MAS COMUN EN VIRTUD DE QUE LAS BOQUILLAS IDEALES DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOLOGICO Y TOPOGRAFICO A MEDIDA QUE LOS AÑOS PASAN VAN SIENDO MAS ESCASAS.

LA CAPACIDAD Y UBICACION DE UN PROYECTO DETERMINA QUE NO SIEMPRE ES POSIBLE SITUAR LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MANERA QUE SU CIMENTACION QUEDE ALOJADA EN LO QUE PUDIERAMOS LLAMAR ROCA SANA, CONSECUENTEMENTE, EL NUMERO INFINITO DE FORMACIONES ROCOSAS QUE EXISTEN EN LA NATURALEZA, NOS OBLIGAN EN CADA CASO PARTICULAR, A ESTUDIAR LAS FORMACIONES COMO MASA O CONJUNTOS QUE DEBEN TRABAJAR ARMONIOSAMENTE CON LAS ESTRUCTURAS QUE SOBRE ELLAS COLOCAMOS, Y NO EN RELACION A SUS COMPONENTES AISLADOS.

A PESAR DE QUE SE HABLA DE UNA MACROGEOLOGIA DE LA REPUBLICA MEXICANA, Y QUE SE DISTINGUIO LA DISTRIBUCION GENERAL DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ROCAS, EN MEXICO PODEMOS DECIR QUE DIFICILMENTE ENCONTRAMOS ZONAS ROCOSAS AMPLIAS QUE TENGAN CARACTERISTICAS HOMOGENEAS, AUN DENTRO DE ESPECIMENES RELATIVAMENTE PEQUEÑOS, ENCONTRAREMOS HETEROGENEIDADES MUY MARCADAS.

ES DECIR, EN UNA MISMA BOQUILLA ENCONTRAREMOS CONDICIONES GEOLOGICAS DIFERENTES, DISTINTOS TIPOS DE ROCAS Y SUELOS, Y ACCIDENTES GEOLOGICOS COMO FALLAS Y FRACTURAS, O CAVERNAS, COMO

SE PUEDE VER EN LA SIGUIENTE REPRESENTACION DE LA GEOLOGIA EN LA MARGEN IZQUIERDA DE LA BOQUILLA DE LA PRESA LAZARO CARDENAS "EL PALMITO", DONDE SE MUESTRAN LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCAS, Y LAS PRINCIPALES FALLAS.



TOBA ROJA



TOBA CON BIOTITA



TOBA BLANCA



RIOLITA



TOBA DELEZNABLE



TOBA ROSA



IGNIMBRITA



TOBA CUARCIFERA



ARCILLA



FALLA



DEPOSITOS LACUSTRES



TOBA COLUMNAR

ESTO NOS OBLIGA A TENER QUE REALIZAR SONDEOS Y ESTUDIOS GEOLOGICOS QUE NOS AYUDEN A TENER UNA IDEA DE LAS CONDICIONES QUE PRESENTA CADA BOQUILLA QUE SE ESTE ANALIZANDO PARA LA SELECCION DEL LUGAR EN QUE SE DESPLANTARA LA CORTINA.

CABE MENCIONAR QUE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS QUE SE APLICAN EN LA ACTUALIDAD NO SON TAN PRECISOS COMO PARA CONOCER EXACTAMENTE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS EN QUE SE ENCUENTRA, Y MUCHAS VECES SE DESCUBREN PROBLEMAS COMO FALLAS, FRACTURAS O CAVERNAS IMPORTANTES HASTA HABER REALIZADO LA LIMPIA GRUEZA Y LA LIMPIA SUPERFICIAL DE LA ZONA DE DESPLANTE.

I.3 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO.

DE ACUERDO CON LO ANTERIOR Y TENIENDO EN CUENTA LAS CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS Y GEOLOGICAS DEL SITIO SOBRE EL QUE SE DESPLANTARA LA ESTRUCTURA, SE DEFINEN LOS OBJETIVOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION, QUE EN GENERAL SON:

- * DISMINUIR O CONTROLAR FILTRACIONES.
- * CONSOLIDAR LOS SUELOS O ROCAS FRACTURADAS.
- * RELLENAR CAVERNAS O CAVIDADES.
- * AUMENTAR LA RESISTENCIA Y DISMINUIR LA DEFORMABILIDAD DE LOS SUELOS.

CAPITULO 2

TATAMIENTOS DE CIMENTACION EN ROCAS

II.1 GENERALIDADES

EN ESTE CAPITULO MENCIONAREMOS LAS DIVERSAS TECNICAS MAS UTILIZADAS EN ROCA PERO ANTES SE ANALIZARAN LAS INYECCIONES Y METODOS DE INYECCION, YA QUE ESTAS FORMAN UNA PARTE MUY IMPORTANTE DEL TRATAMIENTO.

II.2 INYECCIONES

CONSISTE EN LA INTRODUCCION DE UN FLUIDO A PRESION EN LOS VACIOS, FRACTURAS, FISURAS, JUNTAS Y PLANOS DE ESTRATIFICACION QUE EXISTEN EN UNA ROCA DE CIMENTACION, CON EL OBJETO DE REDUCIR SU PERMEABILIDAD, MEJORAR SU RESISTENCIA Y PROPORCIONAR UN CONTACTO CONTINUO ENTRE LA CORTINA Y LA ROCA.

II.2.1 JUSTIFICACION DE LA NECESIDAD DEL INYECTADO

GENERALMENTE SURGE NECESIDAD DE INYECTADO DEBIDO A LAS PROPIEDADES DE PERMEABILIDAD EN LA CIMENTACION QUE REQUIERE LA PRESA, ESTO SE PODRIA INDICAR EN UN CUADRO SINOPTICO, QUE SE FUNDAMENTA EN QUE TAN VALIOSA ES EL AGUA QUE SE PIERDE POR FILTRACIONES, Y EN CADA CASO SE INDICA EL PARAMETRO EN UNIDADES LUGEON QUE NOS DETERMINARIA LA NECESIDAD DE INYECTAR.

PERMEABILIDAD

SE DEBE INYECTAR SI:

- | | | |
|--------------|---|---|
| 1 Y 2 LUGEON | → | EL AGUA ES DE MUCHO VALOR. |
| 3 LUGEON | → | AGUA DE POCO VALOR, PERO SE DEBE PREVER TUBIFICACION. |
| 4-5 LUGEON | → | PRESA SIN DRENAJE ADECUADO O CON CORAZON ANGOSTO. |
| 5-7 LUGEON | → | PRESAS CON DELANTAL IMPERMEABLE. |
| 7-10 LUGEON | → | CASI EN CUALQUIER CASO. |

EL CUADRO ANTERIOR NO SE PUEDE TOMAR COMO UNA REGLA PARA DECIDIR SI ES NECESARIO INYECTAR O NO, REPRESENTA SOLO UN EJEMPLO QUE NOS INDICA LAS UNIDADES LUGEON QUE AMERITARIAN PENSAR EN UNA INYECCION Y REALIZAR TODOS LOS ESTUDIOS NECESARIOS PARA DETERMINAR ESTE TIPO DE TRATAMIENTO.

II.2.2 PRUEBAS NECESARIAS

PARA REALIZAR EL DISEÑO EN UNA CORTINA CON UN ADECUADO TRATAMIENTO DE CIMENTACION, ES NECESARIO CONOCER CUALES SON LAS PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DEL MATERIAL SOBRE EL CUAL SE VA A DESPLANTAR; LA MAYOR PARTE DE LAS VECES NO SE PUEDEN CONOCER ESTAS CARACTERISTICAS AL 100 % DEBIDO PRINCIPALMENTE A QUE RESULTA QUE LOS METODOS PARA CONOCER ESTAS NO SON MUY PRECISOS,

POR EL HECHO DE QUE NO SE PUEDEN IGUALAR LAS CONDICIONES DEL MATERIAL "IN SITU" EN EL LABORATORIO, ADEMÁS DE QUE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN LUGAR PUEDEN SER MUY DIFERENTES A LOS DEL MATERIAL QUE SE ENCUENTRA A UNOS METROS DE DISTANCIA, Y ESTO COMPLICHA NUESTRO ESTUDIO DE SONDEOS.

A PESAR DE TODO LO ANTERIOR, ESTAS PRUEBAS NOS SIRVEN PARA DARNOS UNA IDEA DE LA MAGNITUD DE LOS TRABAJOS NECESARIOS DE TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION Y LAS PODEMOS DIVIDIR EN LOS SIGUIENTES GRUPOS:

1.- RECONOCIMIENTO GEOLOGICO SUPERFICIAL POR MEDIO DE SOCAVONES, TRINCHERAS Y AFLORAMIENTOS, PARA DETALLAR LOS ACCIDENTES GEOLOGICOS MAS IMPORTANTES.

2.- PERFORACION DE BARRENOS CON RECUPERACION DE NUCLEOS, Y EJECUCION DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.

1.- CON UN RECONOCIMIENTO GEOLOGICO SUPERFICIAL NO SIEMPRE SERA POSIBLE LOCALIZAR TODOS LOS ACCIDENTES GEOLOGICOS, PERO NOS DETERMINARA FACTORES IMPORTANTES QUE NOS INDICAN QUE TAN PROBLEMATICAS SERAN LAS INYECCIONES, ESTOS FACTORES SON LOS SIGUIENTES:

ESPACIAMIENTO DE JUNTAS ABIERTAS

ESTE FACTOR CONSIDERA LA VARIACION ENTRE JUNTAS AMPLIAMENTE

ESPACIADAS (DE 8 A 10 M) Y JUNTAS CERCANAMENTE ESPACIADAS DE (0.1 A 0.3 M) (figura 1)

ABERTURAS DE JUNTAS

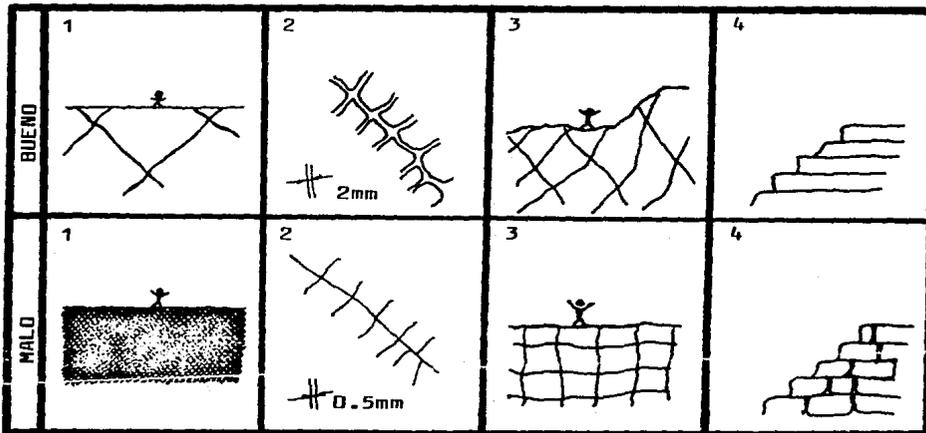
EN LAS ABERTURAS MAYORES A 2 mm SE PERMITE UNA FACIL PENETRACION DE LA MEZCLA, PERO SI LA ABERTURA ES DEMASIADO GRANDE, (MAS O MENOS 6 mm) LAS MEZCLAS PUEDEN DARSE RECORRIDOS DEMASIADO LARGOS PRODUCIENDO ALTOS CONSUMOS DE CEMENTO, SITUACION QUE SE PUEDE SOLUCIONAR CON APLICACIONES MULTIPLES DE LECHADAS A INTERVALOS DE TIEMPO AMPLIOS (figura 2)

ORIENTACION DE JUNTAS

ESTE FACTOR DETERMINA LA DIRECCION DE LOS BARRENOS PARA EL INYECTADO Y LA POSIBILIDAD DE DISLOCAMIENTOS DE LA ROCA DURANTE EL PROCESO (figura 3)

RESISTENCIA DE LA ROCA

ESTE FACTOR AYUDA AL INYECTADO CUANDO LA ROCA SUPERFICIAL ES DURA Y CON BUENA LIGA CON LA ROCA SUBYACENTE, DEBIDO A QUE SE EVITAN DISLOCAMIENTOS Y MOVIMIENTOS CON LA PRESION DE INYECTADO (figura 4)



ESTABILIDAD DE LAS PAREDES DE LOS POZOS PARA INYECTADO

ESTE FACTOR DETERMINA EL PROCEDIMIENTO DE INYECTADO A SEGUIR, YA QUE SI SE PRODUCEN CAIDOS DURANTE LA EJECUCION DE LOS BARRENOS, NO SE PODRA REALIZAR LA PERFORACION DE ESTE DE UNA SOLA VEZ, Y SE NECESITARA RECURRIR A OTRO METODO DE INYECCION COMO VEREMOS MAS ADELANTE (figura 5)

ESFUERZOS RESIDUALES

SON DE ORIGEN TECTONICO Y PUEDEN TENER EFECTOS SEVEROS EN ROCA RESISTENTE Y MASIVA, POR LO QUE SE DEBEN ADAPTAR LAS

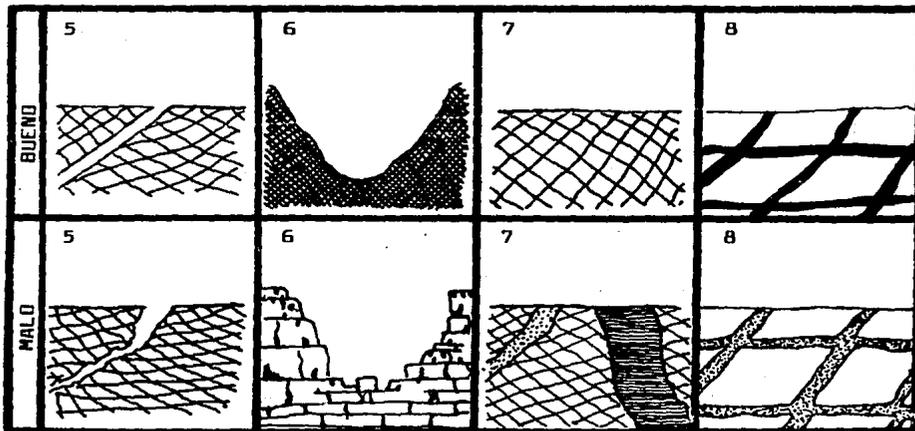
PRESIONES DE INYECCION PARA NO PROVOCAR DESEQUILIBRIO EN EL CUERPO DE LA FORMACION ALTAMENTE ESFORZADA. (figura 6)

HOMOGENEIDAD

CUANDO EXISTE HOMOGENEIDAD, EL PROGRAMA DE INYECTADO PUEDE EFECTUARSE CON ESPACIAMIENTOS Y PROFUNDIDADES REGULARES, POR OTRO LADO SI SE PRESENTAN DISCONTINUIDADES SERA NECESARIO EFECTUARSE TRATAMIENTOS ESPECIALES EN ALGUNOS TRAMOS. (figura 7)

RELLENO DE MATERIAL EN JUNTAS ABIERTAS

CUANDO EL MATERIAL QUE RELLENA LAS FRACTURAS ES SUSCEPTIBLE DE SER REMOVIDO POR LAS FILTRACIONES DE AGUA, ES NECESARIO QUE LA INYECCION SEA MAS INTENSA A FIN DE SELLAR TODAS LAS OQUEDADES Y CONDUCTOS. (figura 8)



2.- EN LA ETAPA DE PERFORACION DE BARRENOS SE RECOMIENDA EFECTUAR EN ESTOS UN INYECTADO DE PRUEBA UTILIZANDO PRESIONES, MEZCLAS Y PROCEDIMIENTOS CONVENCIONALES CON EL FIN DE TENER UNA IDEA DEL COMPORTAMIENTO, EN BASE AL INYECTADO DE PRUEBA Y LAS PRUEBAS DE AGUA.

PRUEBAS DE AGUA

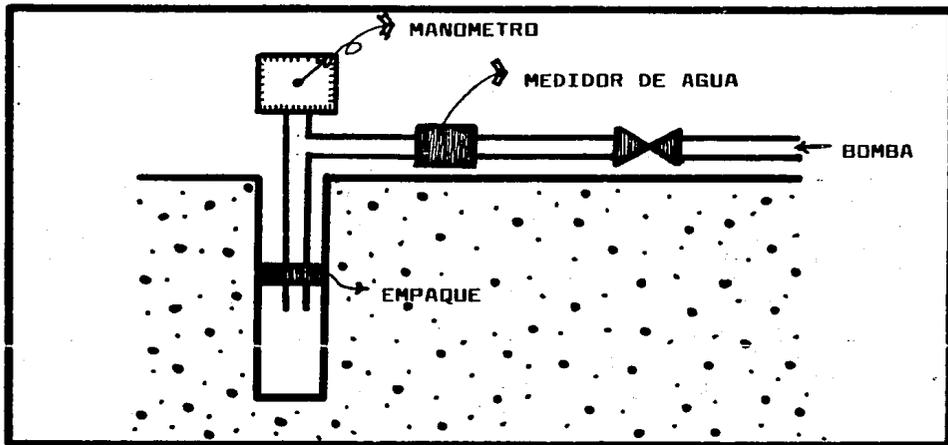
UNA VEZ QUE SE HA TERMINADO DE PERFORAR UN BARRENO ES CONVENIENTE REALIZAR UNA PRUEBA DE PERMEABILIDAD CON EL OBJETO DE CONOCER EL COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO Y ASI TENER MAS BASES PARA LA SELECCION DE LA MEZCLA AL INYECTAR, ADEMAS DE QUE SE APROVECHA PARA LAVAR LOS MATERIALES DE RELLENO EN FISURAS Y FRACTURAS, Y ASI LA MEZCLA TENDRA MAYOR PENETRABILIDAD.

ESTAS DOS VENTAJAS PERMITIRAN QUE EL TRATAMIENTO PROPORCIONE MEJORES RESULTADOS Y MAYOR ECONOMIA, A PESAR DEL COSTO QUE IMPLICAN ESTAS PRUEBAS DE AGUA.

ENSAYO LUGEON

CONSISTE EN CREAR UN FLUJO DE AGUA A TRAVES DE LAS FISURAS Y GRIETAS DE LA ROCA, POR MEDIO DE INYECCIONES DE AGUA A PRESIONES CRECIENTES EN UN TRAMO DE BARRENO, QUE QUEDA LIMITADO EN SU PARTE INFERIOR POR LA MISMA ROCA, Y EN LA PARTE SUPERIOR POR UN EMPAQUE, EL QUE PUEDE SER MECANICO, NEUMATICO O DE COPA DE CUERO,

CADA UNO DE ESTOS EMPAQUES TIENEN PROPIEDADES DIFERENTES, Y SE APLICAN EN DISTINTAS CONDICIONES.



EMPAQUE NEUMATICO

ES UNA BOLSA DE HULE, LA CUAL SE INFLA DESDE EL EXTERIOR POR MEDIO DE UN TUBO DE COBRE, POR EL CUAL SE PASA NITROGENO A PRESION, LO QUE PROVOCA QUE EL EMPAQUE SE ACOMODE PERFECTAMENTE A TODO EL CONTORNO DEL BARRENO, SE RECOMIENDA EN ZONAS INESTABLES DONDE SE PUDIERAN OCASIONAR CAIDOS, NO SE PUEDEN UTILIZAR PRESIONES ELEVADAS (maximo 15 Kg/cm²). (figura 1)

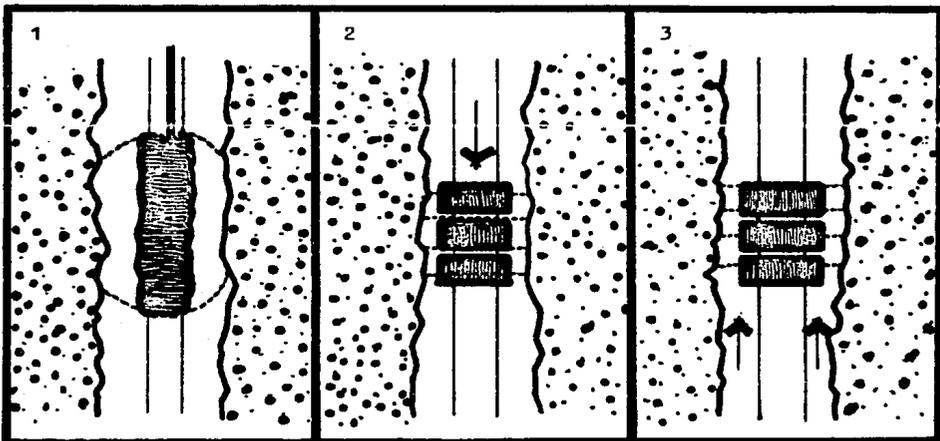
EMPAQUE MECANICO

CONSISTE EN UNA O VARIAS RONDANAS DE HULE DURO, QUE AL SER COMPRIMIDAS POR MEDIO DE UN MANERAL, SUFREN UNA EXPANSION LATERAL DE UNOS mm. QUE LES PERMITE SELLAR EL BARRENO PERFORADO, NO SE RECOMIENDA PARA BARRENOS EN LOS CUALES SE ESPERA QUE EL

HULE SE EXPANDA DEMASIADO. (figura 2)

EMPAQUE DE COPA DE CUERO

ES UN DISPOSITIVO QUE SE ADAPTA AL EXTREMO DE LA TUBERIA EN GRUPOS DE 3 O 4 Y QUE PUEDE DILATARSE POR EFECTO DE LA PRESION DE INYECCION Y OBTURAR EL BARRENO; ESTOS EMPAQUES RESISTEN ALTAS PRESIONES (hasta de 100 Kg/cm²). (figura 3)



EL PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PERFORACION Y EL ENSAYO LUGEON PUEDE SER ASCENDENTE O DESCENDENTE.

EL DESCENDENTE CONSISTE EN PERFORAR UN TRAMO DEL BARRENO, HACER EL ENSAYO LUGEON, PROCEDER A LA INYECCION DE LA MEZCLA PROYECTADA Y ESPERAR A QUE FRAGÜE, A CONTINUACION SE REPERFORA EL TRAMO, SE AVANZA UNO MAS Y SE REPITE LA OPERACION, AL FINAL SE RELLENA TODO EL BARRENO A BAJA PRESION.

EL METODO ASCENDENTE CONSISTE EN PERFORAR UN TRAMO DE BARRENO Y REALIZAR EL ENSAYO LUGEON, SEGUIR PERFORANDO Y SEGUIR ENSAYANDO HASTA LLEGAR A LA PROFUNDIDAD DE PROYECTO Y LUEGO PROCEDER A INYECTAR EN FORMA ASCENDENTE COMO VEREMOS MAS ADELANTE.

NORMALMENTE EN MEXICO LOS ENSAYOS SE REALIZAN EN TRAMOS DE 5 O 10 M. LA ABSORCION SE INDICA EN LITROS/MINUTO Y POR METRO DE PERFORACION, OBTENIENDOSE ESTE DE UNA COTA PROMEDIO DEL TRAMO INFERIOR Y SUPERIOR DEL BARRENO.

LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD PUEDEN PROPORCIONAR INFORMACION EN LO QUE RESPECTA A PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS Y LA SELECCION DE LAS PRESIONES DE INYECCION.

RESUMIENDO LO ANTERIOR, EL ENSAYO CONSISTE EN ANOTAR LOS FLUJOS DE AGUA ABSORVIDOS A PRESIONES CRECIENTES Y DECRECIENTES, MANTENIENDO CADA FLUJO DURANTE 10 MINUTOS. EL RESULTADO SE EXPRESA POR LA MEDIDA DE AGUA ABSORVIDA EN LITROS POR MINUTO Y POR METRO PARA UNA PRESION DE INYECCION DE 10Kg/cm² SIENDO CADA TRAMO DE SONDEO DE 5 M. ACTUALMENTE TODAS ESTAS CONDICIONES SE CONOCEN COMO UNIDAD LUGEON.

ULTIMAMENTE SE HA TRATADO DE RELACIONAR EL NUMERO DE UNIDADES LUGEON DE UNA ZONA CON SU ABSORCION DE CEMENTO, SI PUDIERA ESTABLECERSE TAL RELACION, SIMPLIFICARIA BASTANTE EL RECONOCIMIENTO, YA QUE EL ENSAYO DE AGUA INDICARIA A LA VEZ EL ESTADO DE FISURACION DE LA ROCA Y LAS CANTIDADES DE CEMENTO NECESARIAS PARA SU IMPERMEABILIZACION, TODAS LAS TENTATIVAS

REALIZADAS EN ESTE SENTIDO NO HAN CONVENIDO MAS QUE A NORMAS POCO APROXIMADAS.

ENSAYOS LEFRANC

ES UNA PRUEBA DESTINADA A MEDIR CON CIERTA PRECISION EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD EN UN PUNTO DE UN TERRENO ALUVIAL O DE UNA ROCA MUY FISURADA, CUANDO EXISTE UN NIVEL FREATICO QUE SATURA EL TERRENO. CONSISTE EN LA INYECCION DE AGUA EN UN TERRENO SATURADO A TRAVES DE UNA CAVIDAD Y BAJO UNA CARGA HIDROSTATICA PEQUEÑA Y RIGUROSAMENTE CONSTANTE.

LOS VALORES DEL GASTO Y DE LA CARGA HIDROSTATICA PERMITEN CALCULAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD CON BUENA APROXIMACION, PERO PROPORCIONA UNA PERMEABILIDAD LOCAL EN UN RADIO MUY PEQUEÑO.

II.2.3 PROCEDIMIENTO DE INYECTADO

GENERALMENTE EN LA PRACTICA DE LA INYECCION SON USADOS ALGUNOS DE LOS 3 PROCEDIMIENTOS SIGUIENTES:

- 1.- INYECCION SIN PROGRESIONES
- 2.- INYECCION PROGRESIVA
- 3.- INYECCION CON EMPAQUES
 - a) PROGRESIONES ASCENDENTES
 - b) PROGRESIONES DESCENDENTES

1.- INYECCION SIN PROGRESIONES

SE PERFORA EL BARRENO HASTA SU PROFUNDIDAD TOTAL, SE EFECTUA EL LAVADO DE LA PERFORACION, SE INSTALA UN EMPAQUE EN LA BOCA DEL BARRENO, Y SE PROCEDE A REALIZAR LA PRUEBA DE AGUA Y A INYECTAR COMO UNA SOLA OPERACION TODO EL BARRENO.

ESTE PROCEDIMIENTO ES INDICADO PARA INYECCIONES A POCA PROFUNDIDAD, EN ROCA SANA QUE CONTENGA POCAS FRACTURAS Y DONDE PUDIERAN APLICARSE PRESIONES ALTAS QUE FACILITEN LA PENETRACION DEBIDA, PERO SIN EXCEDER LAS PRESIONES QUE DISLOCARIAN LA ROCA. TIENE ADEMAS LA DESVENTAJA DE NO PODER ADAPTAR LAS MEZCLAS A LAS NECESIDADES DE CADA UNO DE LOS TRAMOS DEL BARRENO.

2.- INYECCION PROGRESIVA

CONSISTE EN EFECTUAR LA PERFORACION HASTA LA PROFUNDIDAD CORRESPONDIENTE A UNA PRIMERA PROGRESION USUALMENTE DE 5 M DE LONGITUD, DESPUES SE LAVA EL BARRENO, SE COLOCA EL EMPAQUE EN LA BOCA DE ESTE Y SE PROCEDE A EFECTUAR LA PRUEBA DE AGUA Y A INYECTAR EL TRAMO, SE ESPERA A QUE FRAGÜE, POSTERIORMENTE SE REPERFORA Y SE AVANZA OTROS 5 M, Y SE PROCEDE DE IGUAL FORMA.

ESTE METODO ES MUY COSTOSO DEBIDO AL MOVIMIENTO DE EQUIPO Y A LOS TIEMPOS OCIOSOS DE ESTE ENTRE INYECCION E INYECCION, PERO TIENE LA VENTAJA DE QUE SE PERMITE LA REINYECCION DE LOS TRAMOS YA TRATADOS, ASEGURANDOSE ASI UNA BUENA PENETRACION DE LA MEZCLA, ADEMAS NO SE PRODUCEN DISLOCAMIENTOS EN VIRTUD DE QUE LAS CAPAS SUPERIORES VAN SIENDO MEJORADAS, LO QUE PERMITE UN AUMENTO DE PRESION DEPENDIENDO DE LA PROFUNDIDAD.

3.- INYECCION CON EMPAQUES

LOS EMPAQUES FUNCIONAN COMO SEPARADORES DE TRAMOS POR INYECTAR DE TAL MANERA QUE PUEDEN AISLARSE TRAMOS EN PARTICULAR. ESTOS EMPAQUES SON SIMILARES A LOS YA DESCRITOS EN EL TEMA DE ENSAYOS DE AGUA.

CUANDO SE UTILIZAN EMPAQUES PARA INYECTADO, ESTAS PUEDEN SER EN PROGRESIONES ASCENDENTES O DESCENDENTES.

PROGRESIONES ASCENDENTES

EN ESTE CASO SE PERFORA EL BARRENO HASTA SU PROFUNDIDAD TOTAL, DESPUES SE LAVA LA PERFORACION, Y SE COLOCA EL EMPAQUE DONDE CORRESPONDE A LA PROGRESION MAS PROFUNDA, SE REALIZA LA PRUEBA DE AGUA, Y SE INYECTA, DESPUES SE COLOCA EL EMPAQUE EN LA PARTE SUPERIOR DE LA SIGUIENTE PROGRESION, Y SE PROCEDE DE LA MISMA MANERA HASTA ALCANZAR LA MAS SUPERFICIAL. ESTE PROCEDIMIENTO RESULTA EL MAS ECONOMICO DE TODOS LOS UTILIZABLES, PERO REQUIERE QUE LA ROCA SEA LO SUFICIENTEMENTE RESISTENTE PARA QUE LAS PERFORACIONES SE PUEDAN LLEVAR HASTA SU PROFUNDIDAD TOTAL SIN QUE PRESENTEN CAIDOS.

LA VENTAJA ECONOMICA QUE PRESENTA ESTE METODO, SE DEBE A QUE LA PERFORACION SE REALIZA DE UNA SOLA VEZ, Y ADEMAS AL SER CONTINUAS LAS INYECCIONES SOLO ES NECESARIA UNA UNICA CONEXION DE LOS TUBOS DE ENVIO DE LA MEZCLA, ADEMAS EL LUGAR DE TRABAJO QUEDA MUCHO MAS LIMPIO DEBIDO AL MENOR MOVIMIENTO DE MAQUINARIA.

LA MAYOR DESVENTAJA CONSISTE EN QUE NO SE PUEDE PROBAR EL TRAMO YA INYECTADO, Y DARNOS CUENTA DE QUE NECESITE UNA REINYECCION.

PROGRESION DESCENDENTE

SE PERFORA LA PRIMERA PROGRESION Y SE LAVA, DESPUES SE REALIZA LA PRUEBA DE AGUA Y SE INYECTA, SE ESPERA A QUE FRAGÜE LA MEZCLA, Y SE PROCEDE A PERFORAR HASTA ALCANZAR LA LONGITUD DE LA SEGUNDA PROGRESION, POSTERIORMENTE SE LAVA EL BARRENO Y SE AISLA EL NUEVO TRAMO COLOCANDO EL EMPAQUE ARRIBA DE LA SEGUNDA PROGRESION, DESPUES SE PROCEDE A INYECTAR DE LA MISMA MANERA.

ESTE METODO AUNQUE RESULTA MAS CARO, ES UTILIZADO EN LOS CASOS DONDE SE CREE QUE SE PUEBAN PROVOCAR CAIDOS DENTRO DEL BARRENO.

UNA APLICACION COMUN DE ESTE METODO CONSISTE EN FORMAR UN "TECHO" EN LA PRIMERA PROGRESION QUE IMPIDA EL DISLOCAMIENTO DE LA CAPA SUPERFICIAL, Y ASI PODREMOS APLICAR PRESIONES MAYORES, ESTA ES UNA DE LAS PRINCIPALES VENTAJAS DEL USO DE EMPAQUES, YA QUE AL PODER AISLAR UN TRAMO, SE LE PUEDE DAR UN TRATAMIENTO ESPECIAL DEPENDIENDO DE LAS NECESIDADES QUE SE CONOCEN MEJOR AL PODER REALIZAR LAS PRUEBAS DE AGUA POR TRAMOS; ADEMAS, TAMBIEN TRAEN UNA VENTAJA ECONOMICA LOS EMPAQUES, AL REDUCIR LOS TIEMPOS DE PERFORACION.

II.2.4 MEZCLAS

LA COMPOSICION Y EL PROPORCIONAMIENTO QUE LE DEMOS A NUESTRAS MEZCLAS INYECTABLES DEPENDERAN PRINCIPALMENTE DE LAS CONDICIONES GEOTECNICAS Y DE LA MAGNITUD DE LAS PRESIONES QUE SE APLICARAN.

LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS SIN DUDA ES UNA PARTE CRITICA DEL TRABAJO DEL INYECTADO, YA QUE NO ES SUFICIENTE SABER PREPARAR UNA MEZCLA PARA OBTENER UN RESULTADO SATISFACTORIO, Y TAMBIEN ES NECESARIO SABER ELEGIRLA EN FUNCION DEL TERRENO, DEL RESULTADO QUE SE PRETENDE ALCANZAR Y DE LA ECONOMIA REQUERIDA.

LAS MEZCLAS EMPLEADAS EN INYECCIONES PUEDEN SER CLASIFICADAS EN TRES GRUPOS PRINCIPALMENTE:

- a) LIQUIDAS
- b) SUSPENSIONES INESTABLES
- c) SUSPENSIONES ESTABLES

a) LIQUIDAS: ESTAN CONSTITUIDAS POR PRODUCTOS QUIMICOS COMO SILICATO DE SOSA, MAS O MENOS DILUIDO, MEZCLADO CON UN REACTIVO COMO RESINAS SINTETICAS O PRODUCTOS HIDRO-CARBONATADOS PUROS.

AUNQUE EN REALIDAD TODOS LOS MORTEROS SON LIQUIDOS, SE LES LLAMA ASI A LOS QUE NO CONTIENEN PARTICULAS QUE SE PUEDAN MEDIR FACILMENTE.

SE OYE LOGICO EN LA TEORIA QUE TODAS LAS MEZCLAS LIQUIDAS PUEDEN PENETRAR FACILMENTE EN CUALQUIER FISURA DE UNA ROCA, PERO EN LA PRACTICA NO SIEMPRE ES ASI, POR LO QUE PARA

INYECTAR UNA MEZCLA LIQUIDA, EL MEDIO NO DEBE TENER UNA PERMEABILIDAD DEMASIADO PEQUEÑA COMO LAS ARCILLAS Y LIMOS QUE PRACTICAMENTE NO SON INYECTABLES; PERO EL OTRO EXTREMO, CUANDO EL MEDIO TIENE GRIETAS GRANDES, LA MEZCLA ALCANZA DEMASIADA VELOCIDAD Y LA INYECCION ES IGUALMENTE IMPOSIBLE, POR LO QUE ESTE TIPO DE MEZCLAS SE USA EN ARENAS FINAS SOLAMENTE, YA QUE SON MUY COSTOSAS.

b) SUSPENSIONES INESTABLES: SON SIMPLES SUSPENSIONES EN EL AGUA DE CEMENTO O DE PIEDRA MOLIDA, NO SON HOMOGENEAS A MENOS QUE SE LES AGITE, PERO AL TERMINAR ESTA COMIENZA LA SEDIMENTACION.

ESTE TIPO DE MEZCLAS PRESENTAN MUCHOS PROBLEMAS DEBIDO A QUE EN LA MAYORIA DE LOS MEDIOS DONDE SE DEBE INYECTAR, LAS PARTICULAS DE LA MEZCLA APENAS CIRCULAN DEBIDO AL TAMAÑO, Y ADEMAS LA MEZCLA NO ESTA CONSTITUIDA POR PARTICULAS INDIVIDUALES, SINO POR UN CONJUNTO DE ESTAS DE TAMAÑO MAYOR Y DE FORMAS CAPRICHOSAS, AUN ASI ESTE NO ES EL UNICO PROBLEMA, SINO QUE LA MEZCLA SE DEBE INYECTAR A UNA VELOCIDAD QUE NO PERMITA QUE LAS PARTICULAS SE SEDIMENTEN Y TAPONEN RAPIDAMENTE LOS CONDUCTOS QUE FORMARAN BOVEDAS EN LAS CUALES NO PENETRO LA MEZCLA, DENTRO DE LOS TRES GRUPOS DE MEZCLAS QUE MENCIONAMOS ESTAS SON LAS MAS BARATAS.

c) SUSPENSIONES ESTABLES

SON OBTENIDAS POR EJEMPLO: DILUYENDO ARCILLA EN EL AGUA O UNA COMBINACION CUALQUIERA DE ARCILLA, CEMENTO Y ARENA. LA ESTABILIDAD SE OBTIENE TANTEANDO LA DOSIFICACION, AGITACION O TRATAMIENTO A EMPLEAR, ESTO SE HACE UNICAMENTE AGREGANDO UNA SUSTANCIA QUIMICA LLAMADA "INGREDIENTE ESTABILIZADOR".

ESTA ESTABILIDAD ES RELATIVA, ES DECIR SE CONSIDERA ESTABLE CUANDO NO EXISTE SEDIMENTACION POR LO MENOS DURANTE EL PROCESO DE INYECCION.

LAS SUSPENSIONES ESTABLES DE MAYOR EXITO SON LAS SUSPENSIONES DE ARCILLA QUE DEBIDO A LA FINURA DEL GRANO NO BLOQUEAN TANTO LOS PEQUEÑOS HUECOS, Y QUE DEBIDO A SUS PROPIEDADES COLOIDALES NO PERMITE UNA RAPIDA SEDIMENTACION, ESTE ES EL TIPO DE MEZCLAS MAS MODERNO QUE SE CONOCE, Y SE INICIARON PARA TRATAR DE INYECTAR ALUVIONES RELATIVAMENTE FINOS, PERO QUE NO FUERAN TAN CARAS COMO LAS MEZCLAS LIQUIDAS.

LOS METODOS DE INYECCION Y LAS MEZCLAS UTILIZADAS SON DIFERENTES SEGUN SEA LA FORMA DE LOS HUECOS A RELLENAR, ESTOS PUEDEN CLASIFICARSE EN:

a) FISURAS

b) HUECOS DE SUELOS SUELTOS

MIENTRAS QUE UNA FISURA PUEDE CONSIDERARSE UNA ABERTURA MAS O MENOS CONSTANTE, LOS HUECOS DE SUELOS SUELTOS SON MUY DESIGUALES Y DE DIFERENTES TAMAÑOS, ESTA DIFERENCIA HACE QUE LA

INYECCION DE SUELOS SEA RELATIVAMENTE DIFERENTE, POR LO QUE SE TRATARA EN EL CAPITULO RESPECTIVO A TRATAMIENTO DE CIMENTACION EN SUELOS .

ASI PUES EL TIPO DE MEZCLAS EMPLEADO DEPENDE DE LA SITUACION EN QUE SE ENCUENTRE EL PROBLEMA A RESOLVER, Y NO SE PUEDEN DAR REGLAS O RECETAR SOLUCIONES SIN ANTES RELIZAR UN ESTUDIO DETALLADO DE LAS NECESIDADES DE NUESTRO TERRENO, COMO PRUEBA DE ESTO SE PUEDE MENCIONAR QUE EXISTE UNA CANTIDAD GRANDISIMA DE TIPOS DE MEZCLAS INYECTABLES, QUE VAN DESDE MEZCLAS LODOSAS O GELATINOSAS QUE NO FRAGUAN COMPLETAMENTE, HASTA MEZCLAS CON GRAN CANTIDAD DE CEMENTO QUE CONVIERTEN NUESTRO TERRENO EN UNA INMENSA ROCA ARTIFICIAL, DESDE LAS QUE SE INYECTAN DE "UN GOLPE", HASTA LAS DE "DOS GOLPES", ES DECIR QUE SE INYECTAN LOS INGREDIENTES POR SEPARADO, DEBIDO A LA RAPIDA REACCION DE ESTOS.

II.2.5 BARRENACION

UNA VEZ QUE SE TIENEN LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES DEL SITIO, SE PUEDE ANALIZAR EL TIPO DE TRATAMIENTO QUE SE VA A RELIZAR, PARA LO QUE NECESITAMOS DEFINIR EN RELACION A LOS BARRENOS DE INYECCION.

- EL DIAMETRO Y LA PROFUNDIDAD.
- SEPARACION Y NUMERO DE LINEAS DE BARRENOS.

A CONTINUACION SE COMENTAN ESTOS ASPECTOS ENFOCADOS A LA FORMACION DE PANTALLAS IMPERMEABLES Y TAPETES DE CONSOLIDACION.

DIAMETRO DE LAS PERFORACIONES

AUNQUE NO EXISTE UNA RAZON PLENAMENTE COMPROBADA RESPECTO A UN DIAMETRO MINIMO Y UN DIAMETRO MAXIMO DE PERFORACION, POR EXPERIENCIA DE LA SARH EN MEXICO SE RECOMIENDA MAYOR A 1 1/2 PULGADAS Y MENOR QUE 3 1/4 PULGADAS.

ESTOS DIAMETROS HAN PROPORCIONADO LOS MEJORES RESULTADOS, YA QUE CON UN DIAMETRO MUY GRANDE SE PIERDE PRESION DE INYECTADO, Y CON UN DIAMETRO MUY PEQUEÑO SE REDUCE EL AREA DE INTERCEPCION DE DISCONTINUIDADES GEOLOGICAS; GENERALMENTE SE USAN DE DIAMETRO PEQUEÑO PARA EVITAR LA SEDIMENTACION DE LAS PARTICULAS DE LA MEZCLA AL AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL FLUJO DEBIDO A LA REDUCCION EN EL AREA DEL BARRENO.

PROFUNDIDAD DE LAS PERFORACIONES

ESTA VARIABLE ESTA EN FUNCION DE LOS SIGUIENTES FACTORES:

- CARGA HIDROSTATICA A QUE ESTARA SOMETIDA LA CIMENTACION.
- PROFUNDIDAD DE LOS ACCIDENTES GEOLOGICOS POSIBLES SIGNIFICATIVOS PARA EL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.

GENERALMENTE SE DISEÑAN PROFUNDIDADES ENTRE EL 30 Y EL 50 % DE LA CARGA HIDROSTATICA, SEGUN UN ESTUDIO DEL POSIBLE FLUJO DEL AGUA A TRAVES DEL MATERIAL DE LA CIMENTACION.

LA PROFUNDIDAD DE LOS BARRENOS NO SE RECOMIENDA MAYOR DE 50 METROS PORQUE A PROFUNDIDADES SEMEJANTES RESULTA POCO ECONOMICO DEBIDO A LA DIFICULTAD DE REALIZAR LOS TRABAJOS; LO QUE SE RECOMIENDA EN LOS CASOS EN QUE EXISTAN POSIBLES ACCIDENTES GEOLOGICOS A MAYOR PROFUNDIDAD, ES CONSTRUIR UNA GALERIA QUE ADEMAS DE SERVIR PARA INYECCION DURANTE LA CONSTRUCCION, TIENE OTROS USOS, COMO REINYECCION, INSPECCION, ETC.

ESTAS GALERIAS PUEDEN TENER CUALQUIER INCLINACION, INCLUSO HASTA SER VERTICALES. DEBEN ESTAR REVESTIDAS PARA EVITAR QUE LA MEZCLA DE INYECCION PUEDA RESURGIR, Y SE DEBEN CALCULAR TOMANDO EN CUENTA QUE DEBEN RESISTIR LOS ESFUERZOS QUE SE TRASMITAN A LA CIMENTACION.

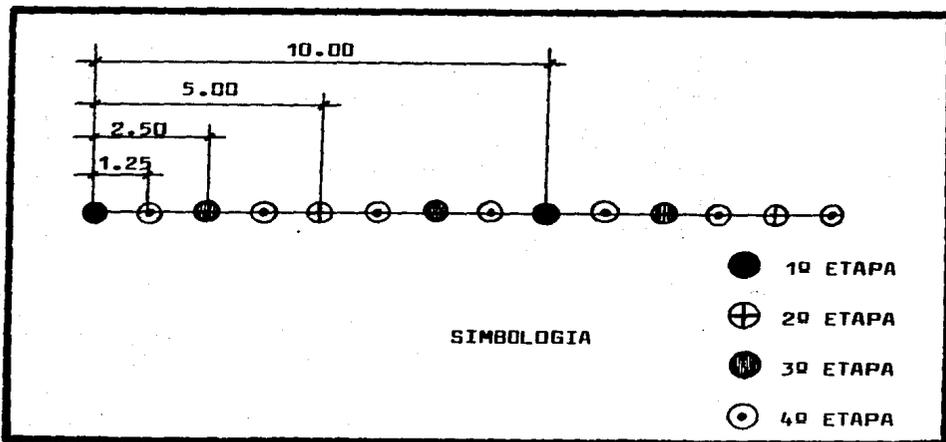
SEPARACION DE LOS TALADROS

LAS CONSIDERACIONES TECNICAS CON RESPECTO A ESTE FACTOR, ESTABLECEN DOS REGLAS QUE SE CONTRADICEN EN CUANTO A ECONOMIA:

- ENTRE MAS FISURADA ESTE LA ZONA PODEMOS TENER MAS SEPARADOS LOS BARRENOS, DEBIDO A QUE LAS GRANDES Y NUMEROSAS FISURAS FACILITAN EL FLUJO DE LA MEZCLA A MAYOR DISTANCIA.
- ENTRE MAS SEPARADOS TENGAMOS LOS BARRENOS NECESITAREMOS INYECTAR MAS MEZCLA PARA PODER REALIZAR UNA PANTALLA REALMENTE CONTINUA.

ES NECESARIO VER LA FORMA DE CONJUGAR ESTAS REGLAS PARA PODER TENER UNA INYECCION EFECTIVA Y ECONOMICA, PARA LO CUAL ES NECESARIO REALIZAR UN ENSAYO EN EL LUGAR, PERO PARA QUE DE RESULTADOS CONCRETOS, DEBE SER LARGO Y COSTOSO, POR LO QUE TAMBIEN SE AUXILIA CON LA EXPERIENCIA EN OTROS TRABAJOS DE INYECCION SIMILARES.

GENERALMENTE SE REALIZA EL TRABAJO DE INYECCIONES EN ETAPAS QUE CONSISTEN EN UN CICLO DE PERFORACION E INYECCION DE UNA SERIE DE BARRENOS QUE SE LOCALICEN A UNA DETERMINADA DISTANCIA ENTRE SI, DE TAL FORMA QUE NO SE PODRAN PERFORAR BARRENOS DE UNA ETAPA POSTERIOR SI NO SE HAN INYECTADO LOS DE LA ETAPA ANTERIOR, LOS DE LA SIGUIENTE ETAPA SE INYECTAN A EQUIDISTANCIAS DE LA ETAPA ANTERIOR; ANTES DE INICIAR CON LAS INYECCIONES SE REALIZA EL INYECTADO DE LAS LINEAS EXTERIORES CON MEZCLAS DENSAS, PARA LIMITAR EL RECORRIDO DE ESTAS.



DURANTE LA 3a O 4a ETAPA SE PUEDE APRECIAR QUE CONSUMO TENEMOS DE MEZCLA, Y SI ES NECESARIA UNA ETAPA POSTERIOR, ESTO SE PUEDE VER EN FUNCION DEL CONSUMO DE CEMENTO POR METRO LINEAL DE BARRENO, PARA OBTENER ESTE SE DIVIDE EL TOTAL DE KILOGRAMOS DE CEMENTO REALMENTE CONSUMIDOS EN CADA BARRENO ENTRE LA LONGITUD DE ESTE.

LA INCLINACION DE LOS BARRENOS SE DETERMINARA EN FUNCION DE QUE GENERALMENTE ES MAS CONVENIENTE INTERCEPTAR EL MAYOR NUMERO DE GRIETAS CRUZANDOLAS EN FORMA PERPENDICULAR.

EN LOS EMPOTRAMIENTOS DE LA CORTINA, ES COMUN CONSTRUIR "ABANICOS", ES DECIR PERFORAR E INYECTAR TRES BARRENOS, UNO VERTICAL Y OTROS DOS A 30 Y 60 GRADOS RESPECTO A ESTE ULTIMO, ESTO TIENE POR OBJETO INTERCEPTAR EL FLUJO EN LOS EMPOTRAMIENTOS DE LA CORTINA.

II.2.6 PRESIONES DE INYECCION

EN LA PRACTICA SE INICIA EL TRATAMIENTO DE CADA POZO INYECTANDO AGUA A BAJA PRESION, PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE CADA PROGRESION, Y PARA LAVARLA DE MATERIAL SUELTO; UN POZO IMPERMEABLE RECHAZARA EL AGUA, O LA TOMARA MUY LENTAMENTE, A LA PRESION ESPECIFICADA PARA ESTA PRUEBA. LA PRESION DEBE MANTENERSE DURANTE UN TIEMPO (mas o menos 5 minutos).

UNO DE LOS PROBLEMAS MAS IMPORTANTES Y DIFICILES QUE SE PRESENTAN ES ESTABLECER CRITERIOS O BASES PARA LA SELECCION DE LA PRESION MAXIMA DE RECHAZO; CON UNA PRESION ALTA SE CORRE EL

RIESGO DE DISLOCAR LA ROCA SUPRAYACENTE AL INYECTADO, Y SI SE APLICA LA BAJA PRESION EL TRATAMIENTO PODRIA SER DEFECTUOSO Y NO LOGRARSE LOS OBJETIVOS PREVISTOS.

SE LLAMA PRESION DE RECHAZO A LA QUE SE DECIDE CON ANTERIORIDAD, QUE DEBEMOS DETENER EL INYECTADO, CLARO QUE BASTARIA CON AUMENTAR LA PRESION PARA SEGUIR CON EL PROCESO, PERO SE PRESUPONE QUE UNA PRESION MAYOR QUE LA DE RECHAZO ABRIRA MAS LAS GRIETAS PARA PERMITIR EL PASO DE LA MEZCLA.

LOS PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRESION DE INYECTADO SON:

- PROFUNDIDAD
- CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ROCA
- CARACTERISTICAS FISICAS DE LA MEZCLA
- INYECTADOS ANTERIORES
- ESTADO DE ESFUERZOS IN SITU

ESTOS SON LOS QUE DETERMINAN LA PRESION QUE SE VA A UTILIZAR. ESTA VARIA DEPENDIENDO DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE INYECCION, DEBIDO A QUE LA PRESION MAXIMA SE DEBE CALCULAR TOMANDO COMO BASE EL PESO DE LA ROCA SUPRAYACENTE, ESTA VARIACION DEPENDE DE QUE TAN FRACTURADA ESTE LA ROCA, Y LOGICAMENTE EL INCREMENTO POR METRO SERA MAYOR EN UNA ROCA SANA Y MASIVA QUE EN UNA ROCA MUY FRACTURADA.

EN EL CASO DE QUE LA FORMACION ROCOSA TENGA ESFUERZOS RESIDUALES, SE DEBE TENER CUIDADO EN LA INYECCION, DEBIDO A QUE SI LA PRESION DE INYECTADO PRODUCE ALGUN MOVIMIENTO EN LA ROCA,

SE PROVOCARA UN DESEQUILIBRIO QUE ORIGINARA LA DISLOCACION DE LA FORMACION.

II.2.7 EQUIPO

EL EQUIPO QUE SE UTILIZA PARA PERFORACION E INYECCION ES MUY VARIADO Y COMPLEJO, Y POR SI SOLO SERIA TEMA PARA UN ESTUDIO COMPLETO, POR LO QUE EN ESTA TESIS SOLO SE HARA MENCION DEL EQUIPO NECESARIO PARA REALIZAR ESTAS ACTIVIDADES.

EQUIPO PARA PERFORACION

- COMPRESORES
- PERFORADORAS
- LINEAS DE ALIMENTACION DE AIRE

EQUIPO PARA LAVADO DE BARRENO

- TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
- BOMBAS
- COMPRESORES

EQUIPO PARA PRUEBAS DE AGUA

- TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
- BOMBAS
- COMPRESORES
- EMPAQUES
- EQUIPO PARA MEDICION Y CONTROL DE PRESIONES

EQUIPO PARA INYECCION

- BOMBAS DE INYECCION
- MEZCLADORAS

- AGITADORAS
- LINEAS DE CONDUCCION
- EMPAQUES DE INYECTADOS

II.2.3 CONTROL

EL UNICO METODO SEGURO PARA VERIFICAR SI UNA INYECCION HA SIDO SATISFACTORIA ES TERMINARLA Y ESPERAR A VER QUE PASA, PERO SE NECESITAN METODOS QUE NOS INDIQUEN QUE TAN EFICIENTE ESTA SIENDO NUESTRA INYECCION DURANTE EL TRATAMIENTO, TAMBIEN CONVIENE PARA NUESTROS TRABAJOS QUE ESTOS METODOS NO SEAN DESTRUCTIVOS COMO SERIA UNA EXCAVACION EN LA ZONA INYECTADA. LOS CONTROLES QUE MAS SE UTILIZAN SON LOS SIGUIENTES:

a) VELOCIDAD DE PERFORACION DE LOS TALADROS

ES UN METODO QUE NO PROPORCIONA UN RESULTADO SOBRE LA CALIDAD DEL TRATAMIENTO, SINO QUE SOLO DA UN INDICIO DE QUE EL INYECTADO HA OCASIONADO UN CAMBIO EN LA ZONA.

CONSISTE EN PERFORAR UN TALADRO EN EL TERRENO Y COMPARAR LA VELOCIDAD DE PERFORACION DE ESTE CON LA DEL TALADRO ANTES DEL INYECTADO.

LA VELOCIDAD DISMINUYE POR LA IMPREGNACION DE LA ROCA POR EL MORTERO QUE YA HA FRAGUADO.

b) ENSAYOS DE AGUA

ESTE METODO SE BASA EN LA COMPARACION DE LA PERMEABILIDAD DEL SITIO ANTES Y DESPUES DEL INYECTADO, LA PRIMERA SE OBTIENE

CON EL ENSAYO LEFRANC QUE SE REALIZA ANTES DEL TRATAMIENTO, PERO COMO RESULTARIA MUY CARO EFECTUAR ESTA MISMA PRUEBA OTRA VEZ, SE RECURRE A REALIZARLA DEL MISMO MODO PERO AHORA CON TUBOS CON MANGUITOS QUE NO DAN UN RESULTADO EXACTO PERO SI UNA APROXIMACION BUENA PARA LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

c) COLORACION DE LOS MORTEROS

CONSISTE EN AGREGARLES UN COLORANTE A LAS MEZCLAS DE INYECCION, Y POSTERIORMENTE AL FRAGUADO DE ESTAS, REALIZAR UNA EXTRACCION DE MUESTRAS A DIFERENTES DISTANCIAS DEL PUNTO DE INYECCION, PARA PODER IDENTIFICAR EN EL SITIO LA PRESENCIA DE LA MEZCLA.

d) TRAZADORES REACTIVOS

CONSISTE EN QUE EN VEZ DE UTILIZAR EL COLORANTE SE MARCA EL MORTERO CON UN TRAZADOR RADIOACTIVO QUE TENGA UNA PERMANENCIA CORTA PARA QUE NO AFECTE A LA MEZCLA, Y QUE SEA FACIL DE IDENTIFICAR.

e) INDICADORES DE MOVIMIENTOS

SE SABE QUE LA INYECCION NO PUEDE HACERSE DE OTRO MODO QUE DEFORMANDO EL MEDIO INYECTADO, PERO ESTA DEFORMACION NO PUEDE SER MUY GRANDE PARA NO AFECTAR LA ESTABILIDAD DEL SUELO. PARA LIMITAR ESTAS DEFORMACIONES SE UTILIZAN APARATOS LLAMADOS INDICADORES DE MOVIMIENTOS DISPUESTOS EN LOS LUGARES QUE SE QUIERE OBSERVAR; POR MEDIO DE UN CONTACTO ELECTRICO, ESTOS INDICADORES ENCIENDEN UNA LAMPARA Y ACCIONAN UN CLAXON CUANDO LA DEFORMACION LIMITE ES ALCANZADA.

II.3 TIPOS DE TRATAMIENTO

LAS PRINCIPALES APLICACIONES DE PRODUCTOS O MEZCLAS INYECTABLES A PRESION EN LAS FRACTURAS DE UN MACIZO ROCOSO, SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS GRUPOS SIGUIENTES:

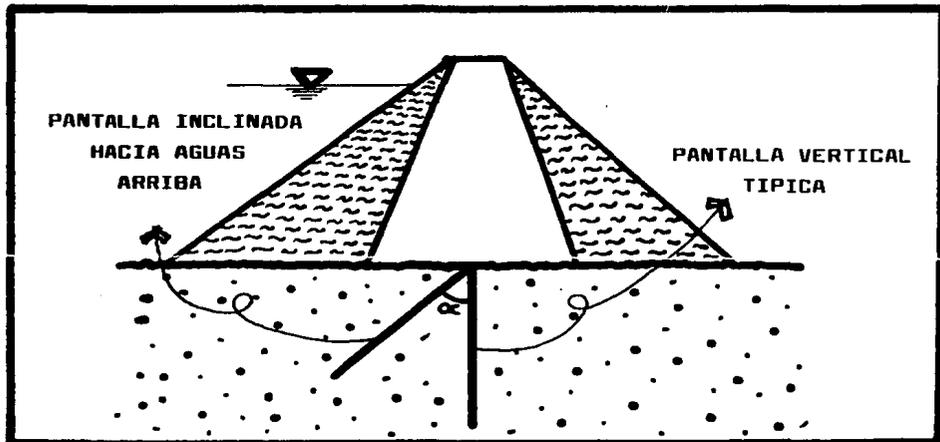
- PANTALLAS PROFUNDAS DE IMPERMEABILIZACION
- TAPETES DE CONSOLIDACION
- INYECCION DE CONTACTO ENTRE ESTRUCTURAS DE CONCRETO Y ROCA
- INYECCION DE EMPAQUE ENTRE EL CONCRETO DE REVESTIMIENTO DE UN TUNEL Y LAS PAREDES DE LA EXCAVACION.
- RELLENO DE GRANDES OQUEDADES.

II.3.1 PANTALLAS PROFUNDAS

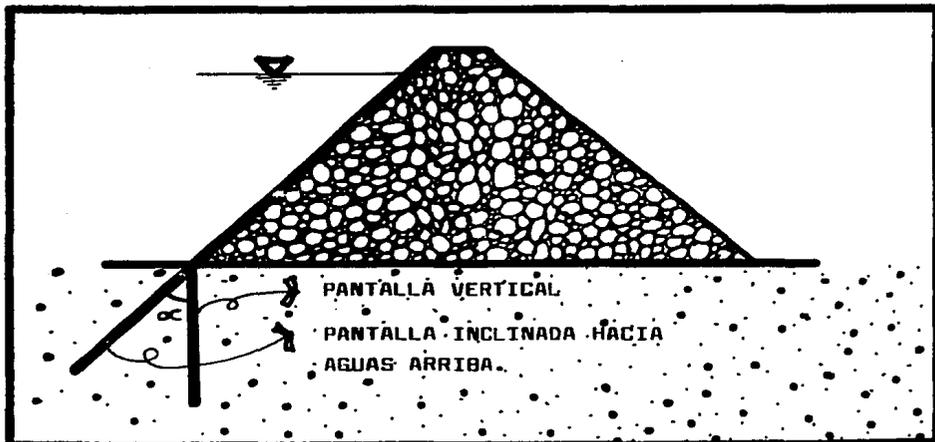
CONSISTE EN LA INYECCION DE MEZCLAS A TRAVES DE BARRENOS PERFORADOS EN UNA O VARIAS LINEAS, CON EL OBJETO DE FORMAR UNA BARRERA IMPERMEABLE QUE IMPIDA EL PASO DEL AGUA POR AHI, Y QUE LO DESVIE HACIA MANTOS MAS PROFUNDOS QUE TENGAN UNA MENOR PERMEABILIDAD, Y ASI DISMINUIR EL FLUJO DE AGUA QUE PASA A TRAVES DE LA CIMENTACION.

EN OCASIONES, CUANDO EXISTEN PENDIENTES FUERTES EN LAS LADERAS, O LA CORTINA ES MUY ALTA, CONVIENE REALIZAR EL INYECTADO POR MEDIO DE GALERIAS, QUE POSTERIORMENTE PODRAN SERVIR PARA DRENAJE.

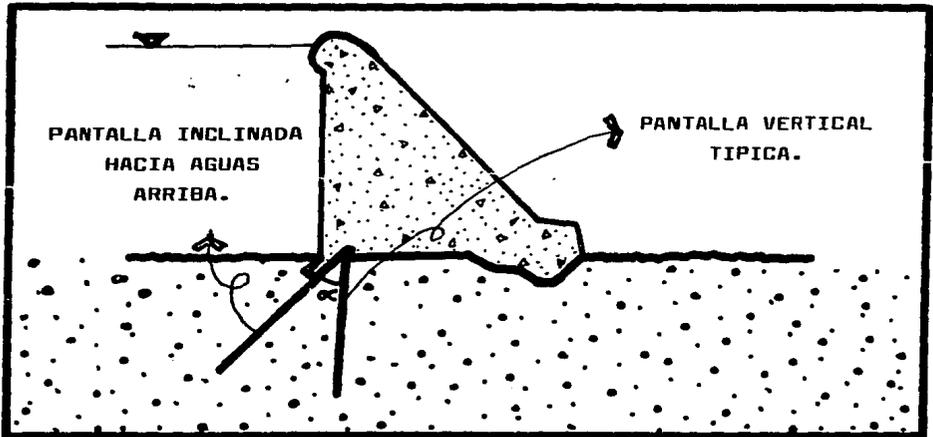
EN PRESAS DE MATERIALES GRADUADOS, LA PANTALLA SE EJECUTA A LO LARGO DEL EJE DE LA CORTINA, O EN EL PRIMER TERCIO AGUAS ARRIBA; USUALMENTE SE CONSTRUYE VERTICAL, PERO PUEDE SER TAMBIEN EN UN PLANO INCLINADO HACIA AGUAS ARRIBA.



EN PRESAS DE ENROCAMIENTO, CON SU ELEMENTO IMPERMEABLE COLOCADO EN EL TALUD DE AGUAS ARRIBA, LA PANTALLA PROFUNDA SE INICIA A PARTIR DEL DESPLANTE DE DICHO ELEMENTO.



EN PRESAS DE CONCRETO LA PANTALLA SE COLOCA BAJO EL DENTELLON DE AGUAS ARRIBA, EN ESTOS CASOS ES COMUN QUE EL TRABAJO SE COMPLEMENTE CON UN DRENAJE POR MEDIO DE POZOS PERFORADOS A TRAVES DE GALERIAS CONSTRUIDAS AGUAS ABAJO DE LA PANTALLA PROFUNDA.



II.3.2 TAPETE DE CONSOLIDACION

EL TAPETE DE CONSOLIDACION SE REALIZA MEDIANTE LA INYECCION DE MEZCLAS A TRAVES DE BARRENOS PERFORADOS EN LOS VERTICES DE UNA CUADRICULA QUE CUBRE TODA EL AREA DE DESPLANTE DEL NUCLEO IMPERMEABLE.

LA FINALIDAD DE ESTE TAPETE ES MEJORAR LAS CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA, CONSOLIDACION Y PERMEABILIDAD DE LA ZONA DE DESPLANTE, FORMANDO UN TECHO QUE PERMITIRA UNA MEJOR INYECCION DE LA PANTALLA PROFUNDA; EL INYECTADO DEL TAPETE GENERALMENTE SE

HACE A PRESIONES BAJAS.

II.3.3 INYECCION DE CONTACTO ENTRE ESTRUCTURAS

LA LIGA QUE PROPORCIONA LA INYECCION IMPIDE LA FILTRACION DEL AGUA EN DONDE SE UNEN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO Y DE LA ROCA, PARA LO CUAL UNA IMPORTANTE CONDICION ES QUE LA MEZCLA SEA ESTABLE.

ESTA INYECCION SE REALIZA POR MEDIO DE BOQUILLAS INSTALADAS A TRAVES DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO.

II.3.4 INYECCION DE EMPAQUE EN TUNELES O GALERIAS

ESTE TRATAMIENTO SE REALIZA INYECTANDO LA MEZCLA A TRAVES DE BARRENOS PERFORADOS DESPUES DE REVESTIMIENTO DE CONCRETO, Y NO PENETRA A TRAVES DE LA ROCA MAS DE 1 METRO DE PROFUNDIDAD, CON ESTO SE REDUCEN LAS FILTRACIONES HACIA EL INTERIOR DEL TUNEL.

PARA ESTE TRATAMIENTO TAMBIEN SE NECESITA LA APLICACION DE MEZCLAS ESTABLES CON OBJETO QUE LOS VACIOS QUE SE PRODUZCAN CUANDO FRAGUE LA MEZCLA SEAN MINIMOS.

II.3.5 RELLENO DE GRANDES OQUEDADES

EN EL ASPECTO DE ROCAS PODEMOS ANALIZAR LOS METODOS DE INYECCION EN ROCAS KARSTICAS Y EN ROCAS FISURADAS.

ROCAS KARSTICAS

SON EN GENERAL CALIZAS, EN LAS QUE EL AGUA SUBTERRANEA HA PRODUCIDO TUNELES, POZOS O CAVERNAS COMO RESULTADO DE LA DISOLUCION DE ZONAS IMPORTANTES, CUANDO ESTOS SON ACCESIBLES SE PROCEDE A TAPONAR CON CONCRETO TODAS LAS ZONAS AFECTADAS POR LA DISOLUCION, Y DESPUES SE INYECTA HASTA RELLENAR TODO EL HUECO.

LA DIFICULTAD DE ESTE TIPO DE ROCAS ES QUE ESTE TIPO DE "KARST" SON POCO NUMEROSOS, Y POR LO TANTO DIFICILES DE LOCALIZAR PORQUE GENERALMENTE NO ESTAN A LA VISTA Y SON AISLADOS, ADEMAS DE QUE MUCHAS VECES SON RECORRIDOS POR CORRIENTES DE AGUA, ESTO LOS HACE PUES, DOBLEMENTE PELIGROSOS YA QUE PUEDEN SER DE DIMENSIONES MUY GRANDES.

ESTE TRABAJO RESULTA SER MUY INTERESANTE DEBIDO A QUE TAMBIEN SE COMPLICA PORQUE LOS KARST MUCHAS VECES SE ENCUENTRAN EN PERIODO DE CRECIMIENTO, POR LO QUE ANTES DE DARLES TRATAMIENTO, SE NECESITA INYECTAR CON UNA PANTALLA DE PERFORACIONES PARA EVITAR LA EXPANSION DEL HUECO.

ROCAS FISURADAS

ESTAS ROCAS TIENEN LA CARACTERISTICA DE QUE UNO NUNCA SABE QUE TAN FISURADA ESTA LA ROCA, Y QUE TANTA MEZCLA NOS VA A CONSUMIR EL INYECTADO.

ADEMAS DEL NUMERO DE FISURAS, ES IMPORTANTE DETERMINAR LA CALIDAD DE LA ROCA PARA ELEGIR EL METODO DE INYECTADO, YA QUE NO TRATAREMOS DEL MISMO MODO UNA ROCA POROSA FRACTURADA QUE UNA ROCA

IMPERMEABLE FRACTURADA, DEBIDO A QUE UN TIPO DE MEZCLA QUE SE USE PARA UNA FRACTURA, NO SIEMPRE SERA ADMITIDA POR LOS POROS DE LA ROCA.

CAPITULO 3

TRATAMIENTOS DE CIMENTACION EN SUELOS

AL IGUAL QUE EN LAS ROCAS, CUANDO NUESTRO SUELO DE ZONA DE DESPLANTE NO TIENE LAS CARACTERISTICAS NECESARIAS PARA PODER FUNCIONAR EFICIENTEMENTE COMO CIMENTACION DE UNA PRESA, ES NECESARIO EFECTUAR UNA SERIE DE TRABAJOS QUE NOS MODIFIQUEN LAS CONDICIONES DE PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA AL GRADO DE QUE SE REDUZCAN ESTOS PARAMETROS A LIMITES ACEPTABLES PARA PODER TENER UN FUNCIONAMIENTO ADECUADO.

LOS SUELOS BLANDOS Y LOS SUELOS SUELTOS, SON AQUELLOS SUELOS RECIENTES QUE NO HAN SOPORTADO EN TODA SU HISTORIA UNA SOBRECARGA, O QUE NUNCA HAN SIDO SOMETIDOS A EFECTOS QUE HAYAN MEJORADO SUS PROPIEDADES MECANICAS; POR LO QUE GENERALMENTE TENDRAN UNA MUY ALTA PERMEABILIDAD Y BAJA RESISTENCIA AL CORTE, CONDICIONES QUE SEGURAMENTE OCASIONARAN PROBLEMAS EN LA CIMENTACION, EN CASO DE QUE NO SEAN TRATADAS ADECUADAMENTE.

ESTE TIPO DE SUELOS SE PUEDE ENCONTRAR GENERALMENTE DE LAS SIGUIENTES FORMAS:

- SUELOS ARCILLOSOS LIGERAMENTE CONSOLIDADOS
- RELLENOS HETEROGENEOS DE TODA NATURALEZA POCO O MAL COMPACTADOS.
- ARENAS SUELTAS.

ESTOS, SE CARACTERIZAN EN PRESENTAR UNA ALTA RELACION DE VACIOS, QUE A VECES SON OCUPADOS POR AGUA Y QUE EN ESTE CASO PUEDEN PROVOCAR PROBLEMAS DE ESTABILIDAD.

ENTRE LOS SUELOS SUELTOS, LOS PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN SON DE PERMEABILIDAD, LICUACION, COLAPSO ESTRUCTURAL, DEFORMABILIDAD Y RESISTENCIA.

III.1 METODOS DE TRATAMIENTO

EN LA PRACTICA SE PUEDEN MEJORAR LAS CARACTERISTICAS DE PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA UTILIZANDO LOS SIGUIENTES METODOS:

- * PRECARGA
- * FORMACION DE PANTALLAS FLEXIBLES
- * COMPACTACION DINAMICA
- * CONSOLIDACION INDUCIDA
- * VIBROFLOTACION
- * CONGELAMIENTO
- * INYECCION.

TODOS ESTOS METODOS, POSEEN CARACTERISTICAS PARTICULARES Y DIFERENTES, DEBIDO A QUE TIENEN QUE REALIZAR EL TRATAMIENTO DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES QUE SE PRESENTAN EN CADA CASO, POR LO QUE ES NECESARIO QUE ANTES DE DECIDIR EL METODO QUE SE VA A UTILIZAR, SE REALICE UN ESTUDIO TOMANDO EN CUENTA LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y LOS LIMITES ACEPTABLES QUE SE ESPECIFICAN EN PARTICULAR, PARA PODER APLICAR EL METODO MAS CONVENIENTE.

III.1.1 PRECARGA

ES EL PROCEDIMIENTO QUE CONSISTE EN LA APLICACION CONTROLADA DE CARGAS PROVISIONALES A LOS SUELOS DE CIMENTACION, ANTES DE COLOCAR LAS CARGAS NORMALES QUE FORMAN EL PROYECTO; LOS OBJETIVOS DE ESTE SON: EL INCREMENTAR LA RESISTENCIA DE LOS

SUELOS BLANDOS O SUELTOS Y DISMINUIR SU COMPRESIBILIDAD PARA REDUCIR LOS CAMBIOS POSTERIORES A LA CONSTRUCCION Y OPERACION DE LA PRESA.

EXISTEN DOS FORMAS DE EFECTUAR LA PRECARGA:

- * LAS FORMADAS CON TIERRA A BASE DE TERRAPLENES O PLATAFORMAS
- * AQUELLAS DONDE SE USA LA ESTRUCTURA CON SU CARGA DE OPERACION CONTROLADA

III-I-I-I PRECARGA CON TIERRA

CONSISTE EN LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES O PLATAFORMAS EN LAS AREAS DONDE SE PRETENDE MEJORAR EL SUELO; GENERALMENTE SE UTILIZA ESTE PROCEDIMIENTO CUANDO SE QUIERE QUE LA CONSOLIDACION DEL SUELO SE LOGRE ANTES DE COLOCAR LAS CARGAS DEFINITIVAS DEL PROYECTO, CON LO QUE SE REDUCEN CONSIDERABLEMENTE LOS ASENTAMIENTOS POSTERIORES A LA CONSTRUCCION DE ESTE, QUE SI FUERAN MUY IMPORTANTES PODRIAN OCASIONAR FALLAS EN LA ESTRUCTURA.

ESTE METODO NO CONSISTE EN APLICAR CARGAS SIN CONTROL, SINO QUE ES NECESARIO REALIZAR UN ESTUDIO CONSIDERANDO EL ESPESOR DE LOS ESTRATOS COMPRESIBLES Y SUS PROPIEDADES MECANICAS, EL INCREMENTO DE ESFUERZOS QUE DEBERA TRANSMITIRSE AL TERRENO, LA SELECCION DEL BANCO DE PRESTAMO SEGUN LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS DEL MATERIAL Y LA SELECCION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO MAS ADECUADO.

EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO SE INICIA CON LA LIMPIA SUPERFICIAL DEL AREA DE DESPLANTE DE LOS TERRAPLENES CON OBJETO

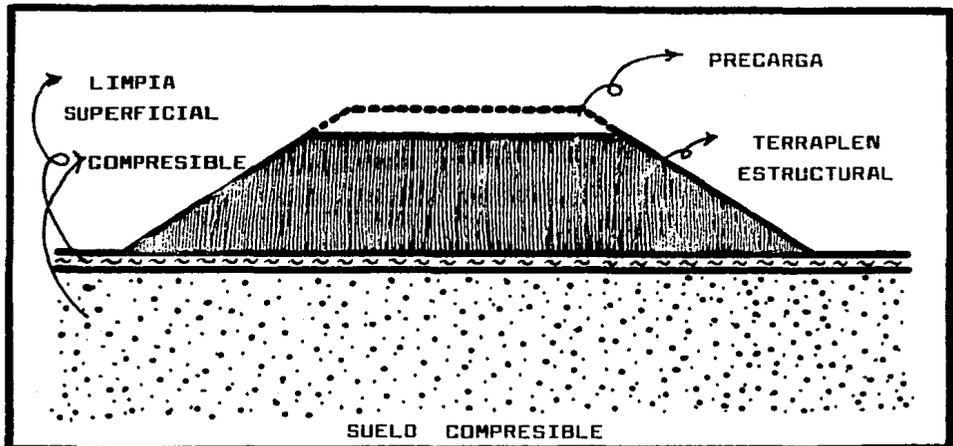
DE ELIMINAR LOS SUELOS SUPERFICIALES CONTAMINADOS DE MATERIA ORGANICA, POSTERIORMENTE SE INICIA EL TENDIDO DEL MATERIAL EN CAPAS, COMPACTANDOLO CON EL EQUIPO ADECUADO A LAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL, HASTA ALCANZAR LA ELEVACION DE LA CORONA PROYECTADA DURANTE ESTE PROCESO SE DEBEN INSTALAR LOS INSTRUMENTOS NECESARIOS PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LA ZONA DE CIMENTACION A LO LARGO DEL TRATAMIENTO: DE ESTOS INSTRUMENTOS SE HABLARA EN EL ULTIMO CAPITULO DE ESTA TESIS.

III.1.1.2 ESTRUCTURA Y CARGA DE OPERACION CONTROLADA.

EN MEXICO SE UTILIZA MAS ESTE METODO, QUE CONSISTE EN DOS ETAPAS:

LA PRIMERA LA CONSTITUYE UN TERRAPLEN ESTRUCTURAL CONSTRUIDO CON LAS ESPECIFICACIONES APROPIADAS, PREVIENDO QUE ESTE INCREMENTE EL FACTOR DE SEGURIDAD A LA FALLA DE LA ESTRUCTURA.

LA SEGUNDA ETAPA ES PROPIAMENTE LA PRECARGA QUE POR FACILIDAD Y ECONOMIA SE FORMA POR VOLTEO.



III.1.2 PANTALLAS

EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS EN LOS QUE SE TRATA DE CIMENTAR UNA CORTINA SOBRE UN SUELO, SE DEBE LUCHAR CONTRA PROBLEMAS DE FILTRACIONES, SUBPRESION Y TUBIFICACION; UNA DE LAS SOLUCIONES A ESTOS PROBLEMAS ES EL EMPLEO DE PANTALLAS, QUE CONSISTEN EN UNA ESTRUCTURA CONSTRUIDA A TRAVES DEL DEPOSITO, CUYA FINALIDAD ES LA REDUCCION DEL FLUJO DE AGUA A TRAVES DE ESTE. LA PANTALLA PUEDE SER METALICA, DE CONCRETO, DE TIERRA O FORMADA POR INYECCIONES DE MEZCLAS DE AGUA-BENTONITA-CEMENTO, PUEDEN SER VERTICALES Y COMPLEMENTADAS CON DELANTALES HACIA AGUAS ARRIBA DEL EJE DE LA CORTINA, CON LOS CUALES SE ALARGA EL PASO DE FILTRACION POR LA CIMENTACION.

- TIPOS DE PANTALLAS -

EXISTE EN LA ACTUALIDAD UNA GRAN CANTIDAD DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA REALIZAR ESTOS ELEMENTOS, LA ELECCION DE LA MEJOR MEDIDA DEPENDE DE LAS SIGUIENTES CONDICIONANTES:

- * VALOR DEL AGUA PARA EL PROYECTO
- * COSTO INICIAL DE CADA ALTERNATIVA
- * COSTO DE LOS POSIBLES DAÑOS PRODUCIDOS POR FALLAS ATRIBUIBLES A LA PANTALLA.
- * LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE CADA UNA DE ESTAS.

PARA RESOLVER EL PROBLEMA DEL FLUJO A TRAVES DE LA CIMENTACION, EXISTEN LAS SIGUIENTES ALTERNATIVAS:

- a) PANTALLA VERTICAL
- b) DELANTAL IMPERMEABLE
- c) TRINCHERA DE MATERIAL COMPACTADO

ESTAS PUEDEN USARSE EN FORMA INDIVIDUAL O COMBINADA.

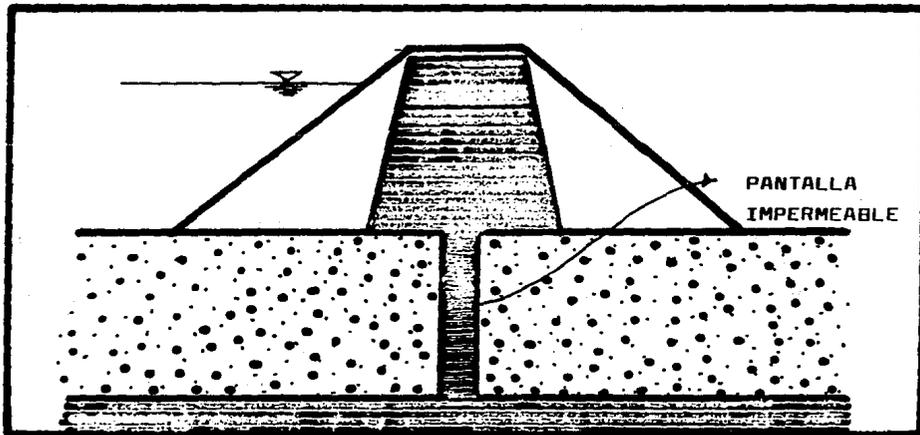
9) PANTALLA VERTICAL

PARA LAS PANTALLAS VERTICALES USUALMENTE SE UTILIZAN LOS SIGUIENTES PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

- * CORTINAS DE INYECCIONES
- * TABLESTACADO
- * TRINCHERA DE LODOS
- * PILOTES O PANELES SECANTES DE CONCRETO

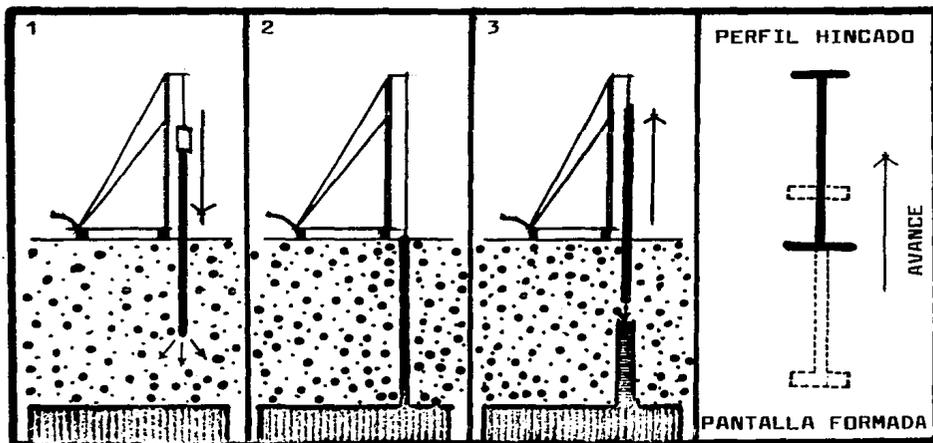
a.1) CORTINAS DE INYECCIONES

GENERALMENTE SE USAN EN FORMACIONES ALUVIALES HASTA 50 METROS DE PROFUNDIDAD; CON ESTE PROCEDIMIENTO NO SE PRETENDE OBTURAR TOTALMENTE EL PASO DEL AGUA, SINO REDUCIR LA PERMEABILIDAD HASTA UN PARAMETRO CONFIABLE DE NO PRESENTAR GRANDES PROBLEMAS.



a.2) TABLESTACADOS

CONSISTE EN EL HINCADO DE UN PERFIL METALICO EN EL TERRENO, QUE POSTERIORMENTE SERA EXTRAIDO O DESPLAZADO AL INYECTAR SIMULTANEAMENTE UNA MEZCLA DE MENOR PERMEABILIDAD; SE RECOMIENDA SOLO EN TERRENOS QUE NO CONTENGAN FRAGMENTOS DE ROCA DE GRAN TAMAÑO YA QUE ESTOS PODRIAN OCASIONAR EL DISLOCAMIENTO DE LA TABLESTACA DURANTE EL HINCADO, ESTE SE HACE CON LA AYUDA DE UN VIBRADOR ENSAMBLADO EN EL MISMO PERFIL; Y AL EXTRAERLO, UNA MEZCLA AUTOENDURECEDORA SE INYECTA POR LA PUNTA FAVORECIENDO LA PENETRACION DE ESTA.



a.3) TRINCHERA DE LODOS

EL "SLURRY TRENCH" O TRINCHERA DE LODOS CONSISTE EN UNA PANTALLA VERTICAL QUE SE CONSTRUYE CON UN MATERIAL MAS FLEXIBLE QUE EL CONCRETO Y QUE PUEDE ABSORVER MEJOR LOS MOVIMIENTOS DEL SUELO, GENERALMENTE SE CONSTRUYEN CON UN ANCHO DE 0.8 METROS Y SE

USA UNA MEZCLA DE LODO BENTONITICO CON CEMENTO.

- PROCESO CONSTRUCTIVO.-

SE REQUIERE INICIALMENTE CONSTRUIR UNA PLATAFORMA DE TRABAJO PARA QUE EL EQUIPO DE EXCAVACION E INYECCION OPERE EN UN NIVEL SUPERIOR AL DEL CAUSE, SE PUEDE APROVECHAR ESTA PLATAFORMA Y HACERLA DE UN MATERIAL ARCILLOSO COMPACTADO PARA QUE FORME PARTE DEL NUCLEO IMPERMEABLE.

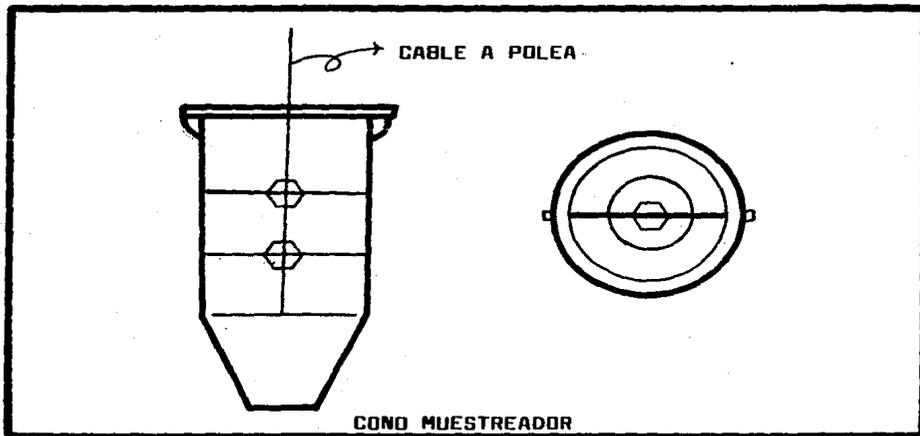
PARA REALIZAR LA EXCAVACION SE COLOCA UNA CIMBRA METALICA EN LAS PAREDES FRONTALES DE LA TRINCHERA, QUE EVITARA DERRUMBES SUPERFICIALES, POSTERIORMENTE SE PROCEDE A EXCAVAR UTILIZANDO UN CUCHARON DE ALMEJA ACOPLADO A UNA GRUA PLUMA; ESTE EQUIPO DEBE GARANTIZAR LA VERTICALIDAD DE LAS PAREDES DE LA PANTALLA; CUANDO SE PRESENTEN ESTRATOS MUY COMPACTOS SE PUEDE SUSTITUIR LA ALMEJA POR UN CINCEL CAPAZ DE ROMPERLOS PARA DESPUES CONTINUAR CON LA EXCAVACION; CUANDO EL CINCEL NO PUEDE PENETRAR SE HARA USO DE UNA PERFORADORA DE PERCUSION O PEQUEÑOS CARTUCHOS DE DINAMITA PROTEGIDOS CON BOLSAS DE POLIETILENO; SIMULTANEAMENTE A LA EXCAVACION DE LA TRINCHERA SE VA SUSTITUYENDO EL MATERIAL EXTRAIDO POR UN VOLUMEN IGUAL DE LODO BENTONITICO CON EL OBJETO DE MANTENER LA ESTABILIDAD DE LAS PAREDES.

LOS PANELES O TABLEROS SE CONSTRUIRAN EN FORMA ALTERNADA, ES DECIR, PRIMERO SE REALIZA LA EXCAVACION DEL 1 Y EL 3 A LA PROFUNDIDAD TOTAL, Y SUSTITUYENDO EL MATERIAL CON LODO BENTONITICO, POSTERIORMENTE SE EXCAVA EL 2, DESPUES SE PROCEDE AL COLADO DESDE EL FONDO DE LOS TABLEROS CON LA MEZCLA DEFINITIVA, POR MEDIO DE UNA TUBERIA CUYO DIAMETRO ESTA EN FUNCION DEL

VOLUMEN A COLOCAR, LA MEZCLA DEBE TENER MAYOR DENSIDAD QUE EL LODO BENTONITICO PARA QUE ESTE PUEDA SER DESPLAZADO Y RECUPERADO; EL DISEÑO DE LA MEZCLA DEFINITIVA ESTARA EN FUNCION DE LAS CARACTERISTICAS DE DEFORMABILIDAD DE LOS MATERIALES DE LA CIMENTACION.

- CONTROLES DE CAMPO.-

INICIALMENTE SE DEBE VERIFICAR LA VERTICALIDAD DE LAS PAREDES DE LA EXCAVACION CON UN DISPOSITIVO TIPO COORDENOMETRO QUE FUNCIONA A BASE DE UN PENDULO QUE PERMITE REGISTRAR LOS DESPLOMES DE LAS PAREDES; POR OTRA PARTE DEBEN EFECTUARSE MUESTREOS DE LAS MEZCLAS ELABORADAS EN LA PLANTA DE DOSIFICACION, CONTROLANDO LA FLUIDEZ, SEDIMENTACION Y DENSIDAD LLEVANDO TAMBIEN UN ESTRICTO CONTROL DE LAS MEZCLAS COLOCADAS EN LA TRINCHERA POR MEDIO DE MUESTREADORES CONICOS, CON LOS QUE SE RECUPERA LA MEZCLA A DIFERENTES PROFUNDIDADES.



a.4) PILOTES O PANELES SECANTES DE CONCRETO.

LA MEZCLA QUE SE UTILIZA ES DE CONCRETO Y BENTONITA QUE EN UNA PRIMERA FASE ASEGURA LA ESTABILIDAD DE LA ZANJA DURANTE LA OPERACION DE EXCAVACION Y EN UNA SEGUNDA FASE CONSTITUYE LA PANTALLA POR AUTOENDURECIMIENTO.

- PROCESO CONSTRUCTIVO.-

EL MURO SE CONSTRUYE EN FORMA CONTINUA, ES DECIR SIN JUNTAS; LOS PANELES PRIMARIOS SE FORMAN ANTES DE INICIAR LA EXCAVACION DE LOS PANELES SECUNDARIOS; EL FRAGUADO REGULABLE DE ANTEMANO, DEPENDE DEL AVANCE DE LA EXCAVACION, QUE DEBE SER RELATIVAMENTE RAPIDO.

UNA VARIANTE DE ESTE SISTEMA ES LA DE LOS PANELES DE CONCRETO PLASTICO, EN LOS CUALES PRIMERO SE CUELA LODO BENTONITICO PARA REPLAZARLO POSTERIORMENTE POR UN CONCRETO PLASTICO FABRICADO A BASE DE ARCILLAS COLOIDALES. ESTOS CONCRETOS SE ESTUDIAN DESDE HACE ALGUNOS AÑOS EN VARIOS PAISES, PARA DETERMINAR SU COMPORTAMIENTO ANTE LAS CONDICIONES IMPUESTAS POR LA ESTRUCTURA Y POR EL MEDIO AMBIENTE. EL PROPOSITO DE ESTOS CONCRETOS ES QUE SEAN DEFORMABLES PARA SEGUIR SIN FISURARSE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO, POR LO QUE ES NECESARIO QUE:

* EL COMPORTAMIENTO ESFUERZO-DEFORMACION DEL PRODUCTO SEA SUFICIENTEMENTE PLASTICO, ESTO SE LOGRA REDUCIENDO LA PROPORCION DE CEMENTO Y AÑADIENDOLE A LA MEZCLA ARCILLAS COLOIDALES.

* QUE LA DOSIFICACION DE LOS AGREGADOS SEA LA CORRESPONDIENTE PARA EVITAR LA FORMACION DE UN ESQUELETO DEMASIADO RIGIDO QUE NO PERMITA UNA DEFORMACION SIN PRESENTAR

FRACTURA.

* DEBE SER SUFICIENTEMENTE FLUIDO PARA PERMITIR UN BUEN COLADO Y SUFICIENTEMENTE RIGIDO PARA EVITAR LA SEGREGACION DE LOS AGREGADOS.

b) DELANTALES IMPERMEABLES

EN CIMENTACIONES TERREAS O ALUVIALES DE GRAN PERMEABILIDAD, LA SOLUCION MAS SENCILLA ES EL DELANTAL DE ARCILLA CONSTRUIDO SOBRE EL TERRENO COMO PROLONGACION DEL CORAZON IMPERMEABLE HACIA AGUAS ARRIBA.

LA LONGITUD Y GEOMETRIA DEL DELANTAL DEPENDE DE LA CARGA DEL EMBALSE, DE LA PERMEABILIDAD DE LA CIMENTACION Y ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA, ES CONVENIENTE QUE SE INSTALEN DRENES DE ALIVIO AL PIE DE LA ESTRUCTURA DEL LADO DE AGUAS ABAJO PARA EVITAR EL ARRASTRE DE PARTICULAS FINAS DE LA CIMENTACION.

c) TRINCHERA DE MATERIAL COMPACTADO

PARA CONSTRUIR ESTE TIPO DE ESTRUCTURA ES NECESARIA UNA EXCAVACION CUYAS DIMENSIONES ESTARAN DEFINIDAS POR LOS TALUDES DEL NUCLEO IMPERMEABLE Y FILTROS, Y LA PROFUNDIDAD ESTARA EN FUNCION DE LA ZONA CONSIDERADA APTA PARA EL DESPLANTE, EL MATERIAL DE RELLENO DE LA TRINCHERA Y SU COLOCACION DEBEN CUMPLIR CON ESPECIFICACIONES SIMILARES A LAS DEL CORAZON IMPERMEABLE.

III.1.3 COMPACTACION DINAMICA

CONSISTE EN LA APLICACION DE ESFUERZOS DINAMICOS INTENSIVOS SOBRE LA SUPERFICIE DEL SUELO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL DEPOSITO; LA APLICACION DE ESTOS ESFUERZOS SE HACE POR MEDIO DE CAIDAS SUCESIVAS DESDE UNA GRAN ALTURA DE UN

MARTILLO QUE PESA DE UNAS 20 A 50 TONELADAS, EL PESO DEL MARTILLO Y LA ALTURA DESDE DONDE SE DEJARA CAER ESTA EN FUNCION DEL ESPESOR DEL DEPOSITO QUE SE DESEE MEJORAR.

ESTE METODO REQUIERE DEL CONOCIMIENTO DE CIERTOS FENOMENOS GEOTECNICOS POCO CONOCIDOS, Y QUE SI NO SE TOMAN EN CUENTA DE LA MANERA CORRECTA, NO SE OBTENDRA EL EXITO DESEADO DEL TRATAMIENTO; ESTOS FENOMENOS SON:

- * LICUACION BAJO EL EFECTO DE ESFUERZOS REPETIDOS
- * COMPRESIBILIDAD DEL AGUA INTERSTICIAL
- * INCREMENTO DE LA PERMABILIDAD CUANDO EL DEPOSITO SATURADO ESTA EN UN ESTADO CERCANO AL DE LICUACION.

ASI PUES ES CLARO QUE EL CONTROL DE LOS TRABAJOS EN EL SITIO ES MUY IMPORTANTE PARA LOGRAR LOS RESULTADOS ESPERADOS; SE DEBE PREVER QUE BAJO LA INFLUENCIA DEL MARTILLEO INTENSIVO, EL AGUA ASCIENDE A LA SUPERFICIE E INUNDARA LAS PARTES BAJAS, POR LO QUE SE DEBE TENER UN EQUIPO DE BOMBEO PARA INSTALARLO EN LOS CRATERES QUE SE FORMAN AL REALIZAR EL TRATAMIENTO.

III.1.4 CONSOLIDACION INDUCIDA

ESTE PROCEDIMIENTO COMBINA EL USO DE PRECARGAS CON DRENES VERTICALES, ESTOS ULTIMOS TIENEN EL OBJETO DE ACELERAR EL FLUJO DE AGUA A TRAVES DE LOS SUELOS BLANDOS QUE SON RELATIVAMENTE IMPERMEABLES, HACIA ZONAS PERMEABLES CONSTITUIDAS POR LOS DRENES LOGRANDOSE CON ESTO UNA DISMINUCION EN EL TIEMPO EN QUE SE ALCANZA UNA DETERMINADA MAGNITUD DE ASENTAMIENTOS.

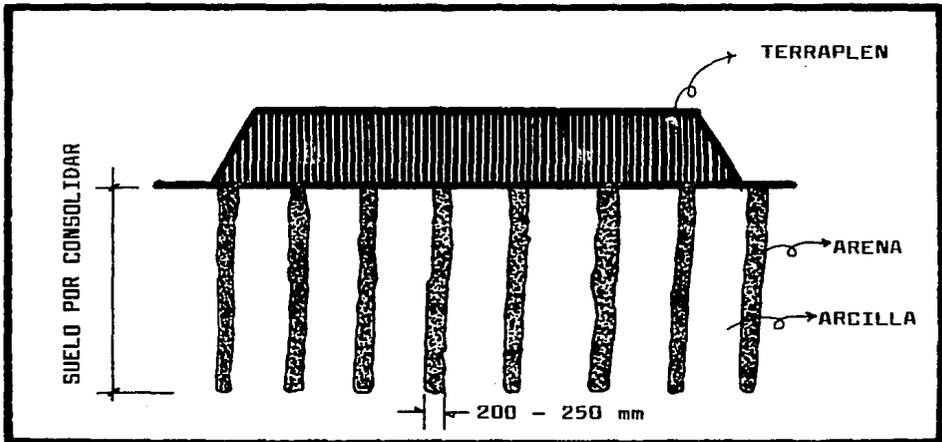
DE ESTOS DRENES, EL AGUA SE CANALIZA POR DRENES HORIZONTALES

CON CIERTA PENDIENTE Y SE LLEVA FUERA DE LA ZONA POR TRATAR.

III.1.2.1 DRENES VERTICALES DE ARENA

DE ESTE TIPO DE DRENES SE HABLO EN EL CAPITULO I, LA PERFORACION DE ESTOS POZOS SE PUEDE HACER POR DIFERENTES METODOS; DE LOS CUALES EL MAS UTILIZADO ES EL CHIFLONEO QUE CONSISTE EN UTILIZAR LA ENERGIA DINAMICA DE UN CHORRO DE AGUA PARA DISGREGAR EL SUELO; EL MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACION ES REMOVIDO POR LA CORRIENTE ASCENDENTE DE CHORRO.

DEBE CUIDARSE DURANTE LA CONSTRUCCION DE ESTE TIPO DE DRENES QUE LA COLOCACION DE LA ARENA TENGA UN RITMO CONSTANTE, CON EL FIN DE QUE ESTA NO SE SEGREGUE Y NO SE REDUZCA LA PERMEABILIDAD VERTICAL.



III.1.2.2 DRENES PREFABRICADOS

ESTOS ESTAN CONSTITUIDOS POR MATERIALES COMO P.V.C., POLIETILENO Y POLIOLEFINA.

ESTOS DRENES PREFABRICADOS DEBEN CUMPLIR CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

- * DEBEN TENER BUENA CONDUCCION VERTICAL
- * DEBEN DISPONER DE SUFICIENTE FLEXIBILIDAD Y RESISTENCIA MECANICA
- * EVITAR QUE LAS PARTICULAS FINAS DEL TERRENO PENETREN DENTRO DEL FILTRO
- * NO DEBERAN PRESENTAR TAPONAMIENTOS O ROTURAS.

- COLOCACION.-

LA PERFORACION SE REALIZA POR MEDIO DE UNA GRUA QUE PORTA UN ELEMENTO LLAMADO MANDRIL, QUE ES HUECO Y CON UNA SECCION ADECUADA PARA QUE EL DREN SE DESPLACE A TRAVES DE EL, DICHO DREN ESTA EQUIPADO CON UN SISTEMA DE ANCLAJE EN LA PUNTA PARA FIJARSE AL FONDO; EL MANDRIL SE HINCA POR PRESION SIMPLE AUXILIADO DE CHIFLONEO O VIBRACION.

A MENUDO SE REALIZA UNA COMBINACION DE AMBOS TIPOS DE DRENES, ES DECIR UN TUBO RANURADO RODEADO POR UN FILTRO DE UNA GRANULOMETRIA MAS GRANDE QUE NO PERMITA QUE INGRESE EL MATERIAL AL TUBO PREFABRICADO.

III.1.5 VIBROFLOTACION

CUANDO SE PRESENTA UN SUELO CON UNA ESTRUCTURA SUELTA Y QUE SU RESISTENCIA AL CORTANTE SEA BAJA, ES POSIBLE MEJORAR ESTAS PROPIEDADES Y REDUCIR SU RELACION DE VACIOS MEDIANTE ESTA TECNICA TRANSFORMANDO ESTOS SUELOS PARA QUE EL ARREGLO DE SUS GRANOS

SEA CAPAZ DE SOPORTAR CARGAS IMPORTANTES.

BAJO EL VIBRADO, LOS EQUILIBRIOS INTERNOS DE LAS PARTICULAS SON ROTOS, Y CADA GRANO, BAJO LA ACCION DE LA GRAVEDAD, TIENDE DESPUES DE CADA ROTURA A ENCONTRAR UNA NUEVA POSICION MAS ESTABLE.

EN LA ACTUALIDAD TAMBIEN ES POSIBLE VIBROCOMPACTAR LOS SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE PILAS DE GRAVA DE BANCO.

EL TERMINO "FLOTACION" PROVIENE DEL PROCEDIMIENTO DE CONSOLIDACION AL PRODUCIRSE LA REDUCCION DEL PORCENTAJE DE VACIOS CUANDO SE LIBERA UNA PARTE DEL AGUA INTERSTICIAL.

LA VIBROFLOTACION SE LLEVA A CABO EN SITIOS AISLADOS, POR LO QUE ES NECESARIO PLANIFICAR LA DISTRIBUCION DE LA RED O MALLA, DE TAL MANERA QUE EL TRATAMIENTO OBTENIDO SEA SATISFACTORIO; NO EXISTE UN METODO DE CALCULO PARA DEFINIR ESTA RED, SE INDICARA POR MEDIO DE LA EXPERIENCIA, LA POTENCIA DEL EQUIPO, Y LA GRANULOMETRIA, YA QUE EL RADIO DE ACCION AUMENTA AL MISMO TIEMPO QUE ESTA, Y ASI UNA GRANULOMETRIA FINA NECESITARA UNA RED MAS CERRADA.

- PROCESO CONSTRUCTIVO.-

PRIMERO SE DEBE HINCAR EL VIBRADOR AUXILIADO CON UN CHIFLONEO DE AGUA, DESPUES SE SUSTITUYE EL SUELO NATURAL EXTRAIDO POR MATERIALES GRANULARES SELECTOS EFECTUANDO LA VIBRACION HASTA OBTENER LA COMPACIDAD REQUERIDA.

- CONTROL.-

* LA CANTIDAD DE MATERIALES AÑADIDOS, NOS DAN UNA IDEA DE LA DISMINUCION DE VACIOS

* LA PRESION DEL ACEITE DEL MOTOR DEL VIBRADOR, ES REPRESENTATIVO DE LA ENERGIA ABSORVIDA POR EL TERRENO Y DEL GRADO DE COMPACTACION.

* ENSAYOS DE PENETRACION ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO ESTOS CONTROLES NOS DAN UNA IDEA DE QUE TAN EFECTIVO HA SIDO EL TRABAJO Y SI SE HAN LOGRADO LOS SIGUIENTES OBJETIVOS:

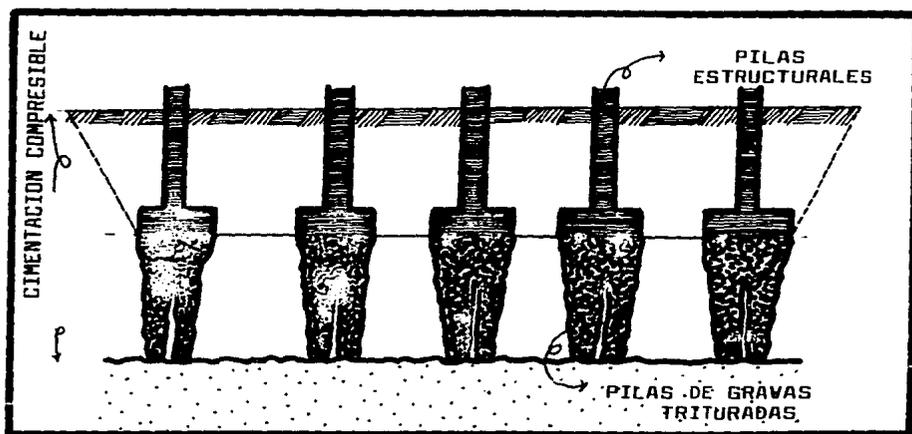
- AUMENTO DE COMPACIDAD DEL SUELO
- AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA
- DISMINUCION DE ASENTAMIENTOS

III.1.5.1 VIBROFLOTACION EN SUELOS COHESIVOS.

PARA REALIZAR ESTE TRABAJO SE CONSTRUYEN PILAS DE GRAVA TRITURADA, ES DECIR SE AGREGAN MATERIALES DE GRANULOMETRIA GRUESA POR MEDIO DE VIBRACION; SE INICIA CORTANDO LOS SUELOS POR MEDIO DEL VIBRADOR Y RELLENANDO LOS BARRENOS CON CAPAS DE GRAVA GRUESA Y ANGULOSA.

EN REALIDAD LA METODOLOGIA A SEGUIR EN ESTOS SUELOS ES IGUAL A LA DESCRITA PARA SUELOS NO COHESIVOS CON LA DIFERENCIA DE QUE ESTOS ULTIMOS UTILIZAN GRAVAS DE BANCO QUE DEBEN CUMPLIR CON LOS SIGUIENTES REQUISITOS:

- * RESISTENCIA MECANICA ELEVADA
- * EL DIAMETRO IDEAL ES DE 80 MM.



LOS CASOS DONDE MAS SIRVE LA VIBROFLOTACION ES CUANDO ENCONTRAMOS SUELOS CAPACES DE SOPORTAR IMPORTANTES CARGAS, PERO SU ESPESOR NO ES MUY GRANDE, Y BAJO ESTE SE ENCUENTRA UN SUELO QUE PUEDE SER MEJORADO POR VIBROCOMPACTACION Y ES INCOSTEABLE SU EXTRACCION.

III-1.6 METODO DE CONGELACION DE SUELOS

EL PROCEDIMIENTO QUE SE LLEVA A CABO EN ESTE CASO CONSISTE EN TRANSFORMAR EN HIELO EL AGUA QUE CONTIENE UN SUELO AUNQUE ESTE NO SEA TOTALMENTE SATURADO.

SE DEBE UTILIZAR UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA TRANSMITIR LAS FRIGORIAS NECESARIAS POR MEDIO DE LOS SONDEOS EN EL SUELO.

EL INTERCAMBIADOR DE CALOR CONSISTE EN DOS TUBOS CONCENTRICOS QUE SE HINCAN DIRECTAMENTE EN EL SUELO POR CONGELAR;

EL TUBO DEL EXTERIOR ES DE ACERO Y DEBE ESTAR OBTURADO EN UNO DE SUS EXTREMOS; EL TUBO INTERIOR ES DE PLASTICO Y SIRVE PARA EL FLUJO DEL FRIGORIZANTE DURANTE EL INYECTADO Y EL RETORNO.

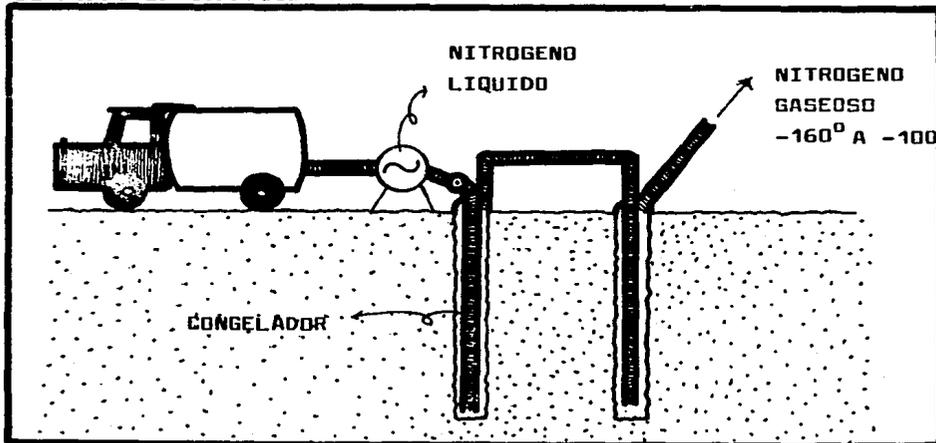
ESTOS INTERCAMBIADORES O CONGELADORES SE COLOCAN EN SERIE Y EQUIDISTANTES, LA CAPA DE HIELO QUE SE FORMA ALREDEDOR DE CADA UNO DE ESTOS, SE VA EXTENDIENDO HASTA JUNTARSE CON LA DE JUNTO, FORMANDOSE ASI UN MURO DE HIELO.

LOS DOS PROCESOS MAS EMPLEADOS SON:

- * CONGELACION POR NITROGENO LIQUIDO
- * CONGELACION A LA SALMUERA

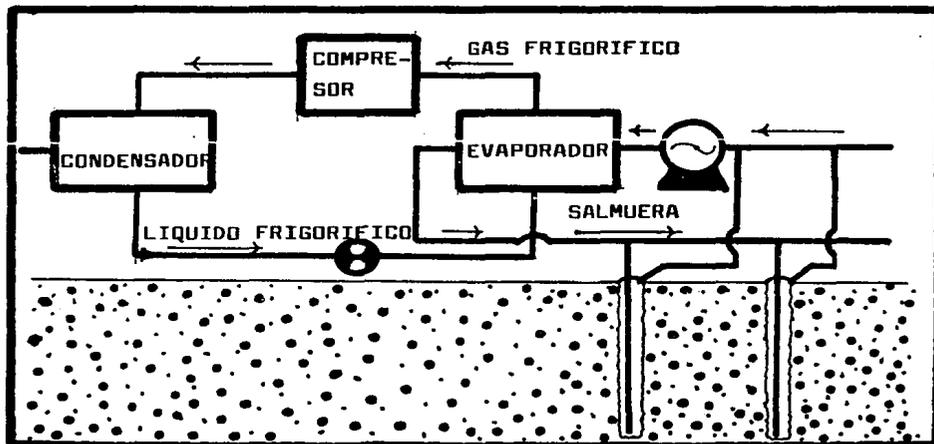
III.1.6.1 CONGELACION POR NITROGENO LIQUIDO

EL NITROGENO CIRCULA POR UN CANAL AISLADO A DIFERENTES SONDEOS DE CONGELACION, EL CUAL SE INYECTA POR EL TUBO INTERIOR, SE EVAPORIZA Y SUBE POR EL TUBO EXTERIOR DONDE SE REALIZA EL INTERCAMBIO DE CALOR, POSTERIORMENTE SE ENVIA AL SEGUNDO SONDEO DE DONDE ES CONDUCCIDO AL COLECTOR DE GAS.



III.I.6.2 CONGELACION A LA SALMUERA

COMO LIQUIDO FRIGORIZANTE SE UTILIZA UNA SALMUERA DE CLORURO DE CALCIO QUE SE ENFRIA A UNA TEMPERATURA ENTRE -20 Y -30 GRADOS CENTIGRADOS EN UN EVAPORADOR QUE FUNCIONA CON AMONIACO, ASI EL LIQUIDO CONGELADOR CEDE SU FRIO AL LIQUIDO INTERMEDIO O SALMUERA.



- CONTROL.-

EL CONTROL DEL CIERRE DEL MURO DE HIELO Y DEL ESPESOR SE HACE POR MEDIO DE SONDEOS EN LOS QUE SE MIDE LA TEMPERATURA, ESTAS MEDIDAS INDICAN SI EN CUALQUIER LUGAR ESTA FORMADO EL MURO O NO.

CON NITROGENO LIQUIDO LA FORMACION DEL MURO DE HIELO SE LLEVA A CABO EN 48 HORAS Y POR EL METODO DE LA SALMUERA EN 3 SEMANAS, Y ESTA ULTIMA TIENE CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA MENORES A LAS ANTERIORES.

ESTE ES UN METODO PROVISIONAL, MUY SEGURO PERO RELATIVAMENTE CARO; EXISTE UNA CONDICION MUY IMPORTANTE PARA QUE PUEDA LLEVARSE A CABO LA CONGELACION Y ES QUE NO DEBE HABER CIRCULACION DE AGUA YA QUE SERIA PRACTICAMENTE IMPOSIBLE CREAR EL MURO DE HIELO.

III.1.7 INYECCION EN SUELOS.

EN GENERAL LAS MEZCLAS, PRESIONES Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LA INYECCION EN ROCAS SON SIMILARES A LAS DE SUELOS, CON CIERTAS DIFERENCIAS QUE SE MENCIONAN A CONTINUACION:

- * EN LA INYECCION EN SUELOS NO SE BUSCA UNA PRESION DE RECHAZO PARA DETENER EL INYECTADO, SINO QUE SE CONTROLA POR EL VOLUMEN DE MEZCLA CONSUMIDO.
- * NO SIEMPRE ES CONVENIENTE UNA INYECCION CONSTANTE, YA QUE EL RADIO DE ACCION PUEDE SER MUY PEQUEÑO, A VECES ES MEJOR INYECTAR A BASE DE FUERTES GOLPES DE PRESION QUE PRODUZCAN PEQUEÑAS FALLAS EN LA ESTRUCTURA.
- * SE DEBE TENER UN MAYOR CONTROL EN LOS MOVIMIENTOS DEL SUELO DURANTE LA INYECCION PARA QUE NO SE PROVOQUE UN DISLOCAMIENTO.

EL TRABAJO DE INYECCIONES PARA CIMENTACION DE CORTINAS ES TAN AMPLIO Y COMPLEJO, QUE POR SI SOLO PODRIA SER TEMA PARA UN ESTUDIO MUY PROFUNDO, ESTO NOS DA UNA IDEA DE QUE TAN GRANDE ES EL TEMA Y QUE AQUI SOLO SE HIZO UN ANALISIS DE ESTE TIPO DE TRABAJOS A GRANDES RAZGOS.

CAPITULO 4

COMPORTAMIENTO DE PRESAS
MEXICANAS SEGUN SU
CIMENTACION

ANTES DE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS CORTINAS EN MEXICO, CABE HACER MENCION DEL EQUIPO MAS UTILIZADO PARA MEDIR EL DESPLAZAMIENTO Y LAS DEFORMACIONES DE LA CIMENTACION Y LA CORTINA TANTO DURANTE LA CONSTRUCCION COMO DURANTE LA OPERACION.

IV.1 INSTRUMENTACION

EL INICIO EN MEXICO DE ESTE TIPO DE APARATOS PARA MEDIR LOS MOVIMIENTOS DE UNA PRESA FUE APROXIMADAMENTE HACE 20 AÑOS, PERO HAN IDO EVOLUCIONANDO Y MEJORANDO CADA VEZ, TODAVIA EXISTE UN BUEN NUMERO DE PROBLEMAS AUN NO RESUELTOS SATISFACTORIAMENTE, DE LOS CUALES SE HABLARA EN SEGUIDA:

IV.1.1 INCLINOMETROS

SON LOS APARATOS QUE SE UTILIZAN PARA MEDIR ASENTAMIENTOS Y DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES, EN DOS DIRECCIONES, EN SENTIDO PARALELO AL EJE DE LA PRESA Y EN SENTIDO PERPENDICULAR A ESTA; EN MEXICO EL TIPO DE INCLINOMETROS MAS UTILIZADO ES EL "SLOPE INDICATOR" QUE FUNCIONA A BASE DE UNA SONDA INTRODUCIDA EN ADEMÉS TELESCÓPICOS ACANALADOS DE ALUMINIO.

ESTE APARATO NO HA SIDO PERFECCIONADO, Y GENERALMENTE SUS MEDICIONES DIFIEREN UN POCO DE LAS MEDIDAS DE PRECISION QUE SE HACEN TOPOGRAFICAMENTE, PERO AUN ASI ESTE APARATO ES UNO DE LOS MAS UTILIZADOS Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON ESTE SE CONSIDERAN BASTANTE ACEPTABLES.

LA SONDA UTILIZADA CONSTA BASICAMENTE DE UN PENDULO QUE REGISTRA UNA DESVIACION ANGULAR RESPECTO A LA VERTICAL, LA LECTURA DE ESTA MEDICION SE HACE DESDE EL EXTERIOR; EL APARATO TIENE LA DESVENTAJA DE QUE EN OCASIONES NO SE REGISTRAN MEDICIONES CONFIABLES, OCASIONADAS PORQUE EL PENDULO NO SE DESPLAZA EN SU PLANO POR EFECTO DE QUE SE GENERAN FRICCIONES EN EL RODAMIENTO QUE SOPORTA EL EJE DE GIRO; OTRO PROBLEMA SON LAS OBSTRUCCIONES OCASIONADAS POR DEFORMACIONES EN LA TUBERIA Y DESACOPAMIENTO DEL APARATO, EXISTE TAMBIEN UNA PERDIDA GRADUAL DE PRECISION OCASIONADA POR:

- DESGASTE POR USO PROLONGADO
- INCRUSTACIONES EN LA TUBERIA POR DEPOSITOS DE SALES
- DEFORMACION DE LA TUBERIA POR CARGAS LATERALES

IV.1.2 DEFORMOMETROS

SIRVEN PARA MEDIR ASENTAMIENTOS EN PUNTOS ESPECIFICOS, LOS MAS UTILIZADOS EN MEXICO SON LOS DEL TIPO " U.S.BUREAU OF RECLAMATION" TANTO VERTICALES COMO INCLINADOS.

ESTE APARATO TAMBIEN SE FORMA DE UN TUBO Y UNA SONDA DE MEDICION, LOS RESULTADOS EN MEXICO SE HAN CONSIDERADO SATISFACTORIOS COMPARADOS CON LOS MEDIDOS TOPOGRAFICAMENTE, AUNQUE TAMBIEN SE PRESENTAN LOS MISMOS PROBLEMAS QUE EN LOS INCLINOMETROS.

IV.1.3.NIVELES HIDRAULICOS

SE USAN PARA VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DE INCLINOMETROS O

MEDIR ASENTAMIENTOS EN PUNTOS DETERMINADOS DE LA ESTRUCTURA, LA PRECISION ESTIMADA ES DE MAS O MENOS 1cm., SU PRINCIPIO SE BASA EN EL DE VASOS COMUNICANTES.

IV.1.4 EXTENSOMETROS LINEALES

MIDEN DESPLAZAMIENTOS ENTRE DOS PLACAS DE REFERENCIA POR MEDIO DE UNA RESISTENCIA ELECTRICA. CONECTADA AL EXTERIOR A TRAVES DE UN ALAMBRE PROTEGIDO POR UN TUBO DE FIERRO GALVANIZADO; SU PRINCIPAL DEFECTO ES DEJAR DE FUNCIONAR EN OCASIONES DEBIDO A FILTRACIONES A TRAVES DE EMPAQUES

IV.1.5 CELDAS DE PRESION

SE UTILIZAN PARA MEDIR ESFUERZOS NORMALES, EL DISEÑO CONSISTE ESENCIALMENTE EN UNA CAMARA FORMADA POR LAMINAS DE ACERO RECTANGULARES, CON SUS BORDES PERIMETRALES UNIDOS ENTRE SI EN FORMA FLEXIBLE, SATURADA CON ACEITE Y CONECTADA A UN APARATO TRANSDUCTOR QUE ES EL QUE SE ENCARGA DE MANDAR LA SEÑAL A LA CARATULA DE MEDICION.

LAS FALLAS MAS COMUNES SON POR LAS SIGUIENTES CAUSAS:

- FUGAS DE ACEITE
- ROTURA DE MANGUERAS
- DEFECTOS DE FABRICACION

SU PRINCIPAL DEFECTO ES QUE EN OCASIONES SON ACCIONADAS POR ROTURAS DE LA MISMA TUBERIA.

IV.1.6 PIEZOMETROS

LA MEDICION DE LOS NIVELES DE AGUA Y DE LA PRESION ES BASICA PARA ANALIZAR EL DESARROLLO DEL PROCESO DE CONSOLIDACION; EN MEXICO SE USAN DE DOS TIPOS:

*TIPO CASAGRANDE

*NEUMATICOS

-EN CONCLUSION LA INSTRUMENTACION ES UN MEDIO IMPORTANTE PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO REAL DE LA CORTINA, APORTAR ELEMENTOS DE JUICIO QUE PERMITAN ACTUAR OPORTUNAMENTE PARA CORREGIR DEFICIENCIAS Y MEJORAR EL DISEÑO DE NUEVAS PRESAS, POR LO TANTO ES ESENCIAL QUE SE CONTINUE ESTUDIANDO EL MEJORAMIENTO DE ESTOS EQUIPOS QUE AUNQUE TIENEN MUCHAS FALLAS EN LA ACTUALIDAD, YA NOS APORTAN UNA BUENA AYUDA PARA LLEVAR EL CONTROL Y TENER UN CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA.

TODOS LOS METODOS Y PROCEDIMIENTOS ANALIZADOS EN LOS CAPITULOS ANTERIORES SON USADOS CON FRECUENCIA EN LA PRACTICA DE CIMENTACIONES EN MEXICO, PERO COMO YA HEMOS MENCIONADO, LOS TRABAJOS DE CIMENTACION NO ESTAN SUJETOS A REGLAS GENERALES, DEBIDO A LAS DIFERENCIAS GEOLOGICAS QUE PRESENTAN LOS SUELOS EN CADA BOQUILLA. Y A VECES HASTA SE PRESENTAN DIFERENCIAS TAN MARCADAS DENTRO DE UNA MISMA, QUE TENDREMOS QUE REALIZAR TRATAMIENTOS DIFERENTES EN ZONAS MUY AISLADAS.

TODO ESTO SE PODRA VER MAS CLARO CON LA PRESENTACION DE ALGUNOS EJEMPLOS DE TRATAMIENTOS YA REALIZADOS EN MEXICO Y QUE CLASIFICAREMOS COMO SIGUE:

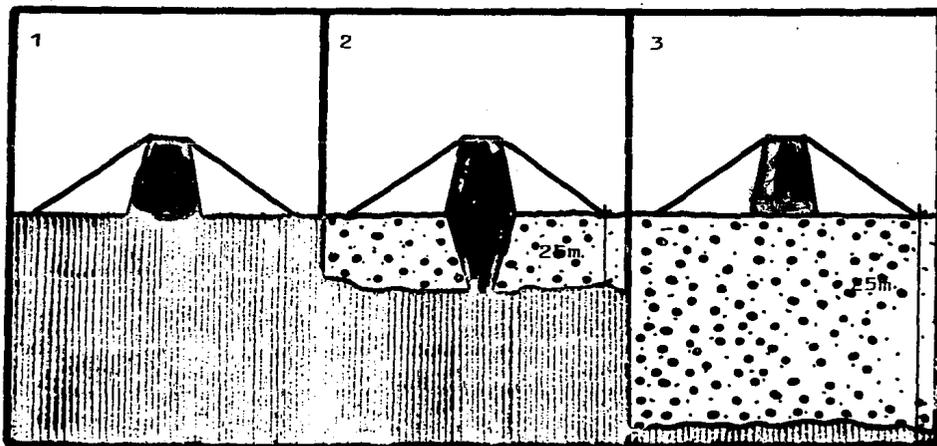
IV.2 DIFERENTES CASOS QUE SE PRESENTAN EN CIMENTACIONES.

CABE RECALCAR QUE LOS SIGUIENTES CASOS NO SON LOS UNICOS QUE SE PRESENTAN, PERO CON EL OBJETO DE HACER UNA CLASIFICACION GENERAL PARA SU ESTUDIO, SE TOMARAN LOS TRES CASOS TIPICOS QUE SE HAN ENCONTRADO.

1.- QUE AFLORE LA ROCA O SUELO SANO, O QUE SE ENCUENTRE A POCA PROFUNDIDAD EN EL CAUCE Y LADERAS.(figura 1)

2.- QUE SE ENCUENTRE CUBIERTA LA ROCA BASAL POR UNA CAPA DE RELLENO ALUVIAL RECIENTE, O DE ROCA MUY FRACTURADA, O SUELO DE MALA CALIDAD PERO A UNA PROFUNDIDAD ACCESIBLE.(figura2)

3.-QUE LA CAPA DE RELLENO ALUVIAL, SUELO O ROCA DE MALA CALIDAD, SEA MUY PROFUNDA Y NO SEA POSIBLE DESCUBRIR LA CAPA DE CALIDAD ACEPTABLE. (figura 3).



IV.2.1 PRIMER CASO

GENERALMENTE ESTE CASO ES EL QUE TRAE MENOS PROBLEMAS PARA EL TRATAMIENTO, DEBIDO A QUE SE MINIMIZAN LOS TRABAJOS DE EXCAVACION.

EN MUCHOS DE ESTOS CASOS SE REALIZA PRIMERO UNA LIMPIA DEL MATERIAL DE ACARREO DEL RIO, TIERRA VEGETAL O ROCA FRACTURADA, HASTA DESCUBRIR LA CAPA DE ROCA SANA, ESTO SE DEBE REALIZAR PRINCIPALMENTE EN LA ZONA DE DESPLANTE DEL CORAZON IMPERMEABLE TANTO EN EL CAUCE COMO EN LAS LADERAS.

SI SE ENCUENTRAN FISURAS O GRIETAS, SE PROCEDERA A TRATARSE COMO SE MENCIONO EN LOS CAPITULOS ANTERIORES CON EL USO DE DENTELLONES O PANTALLAS PROFUNDAS DE INYECCIONES, EN CASO DE SER ESTAS FALLAS DE GRAN IMPORTANCIA, NUESTRO PROBLEMA PUEDE AGRANDARSE HASTA EL CASO DE TENER QUE BUSCAR OTRA LOCALIZACION PARA EL DESPLANTE.

UN BUEN EJEMPLO PARA ESTE CASO ES EL DIQUE No. 2 DE LA PRESA NETZAHUALCOYOTL (MALPASO) DE LA QUE SE HABLARA EN SEGUIDA:

DIQUE No. 2 PRESA NETZAHUALCOYOTL (MALPASO).

A FIN DE CONTROLAR LAS CRECIENTES DEL RIO GRIJALVA, Y SU PRINCIPAL AFLUENTE "LA VENTA", LA COMISION DEL RIO GRIJALVA (SRH) CONSTRUYO LA PRESA NETZAHUALCOYOTL EN EL SITIO LLAMADO RAUDALES DE MALPASO, CHIAPAS, DONDE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD TUVO A SU CARGO LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA HIDROELECTRICA.

OBJETIVOS. CONTROL DE AVENIDAS, GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y FINALMENTE RIEGO.

COMPRENDE UNA CORTINA, OBRAS AUXILIARES, PLANTA HIDROELECTRICA Y TRES DIQUES CONSTRUIDOS EN PUERTOS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO LA VENTA, CON UN AREA DE CUENCA TOTAL DE 33,740 KM2.

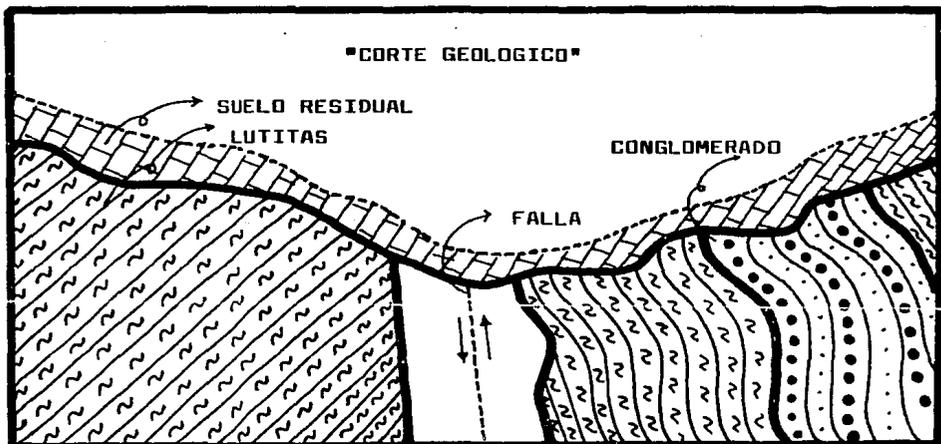
DIQUE 2.- ESTA DISTANTE 27 KM. DE MALPASO, SU ESTRUCTURA ES DEL TIPO HOMOGENEO DE 30 M DE ALTO Y 240 M DE LARGO, CUBICANDO 575,250 M3.. EL DISEÑO FUE CONDICIONADO POR LA PRESENCIA DE UNA FALLA REGIONAL EN EL FONDO DEL PUERTO QUE ALOJA AL DIQUE.

SE REALIZO UN ESTUDIO EN ESTE DIQUE PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LAS LUTITAS FISURADAS QUE SE ENCUENTRAN EN LA CIMENTACION, FUE EL UNICO DIQUE DE LA PRESA QUE SE INSTRUMENTO CON EL FIN DE REGISTRAR DESPLAZAMIENTOS Y NIVELES PIEZOMETRICOS EN LA CIMENTACION Y ESTRUCTURA TENIENDO EN CUENTA LA FALLA QUE SE MENCIONO.

DESCRIPCION GEOLOGICA.-

EN EL PUERTO DEL DIQUE DOS SE LOCALIZO UNA FALLA REGIONAL LA LADERA IZQUIERDA ESTA FORMADA POR LUTITA AZUL, LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA INTEMPERIZADA ES DE 10 M.; LA ROCA SE ENCUENTRA INTENSAMENTE FRACTURADA EN FORMA DE ESCAMAS A SU VEZ LA LADERA DERECHA ESTA CONSTITUIDA POR CAPAS DE LUTITA CAFE ALGO PLEGADAS, CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS, CONGLOMERADOS Y CALIZAS; EL INTEMPERISMO PENETRA HASTA 20 M. DE PROFUNDIDAD Y LA FISURACION ES MENOS PRONUNCIADA QUE EN EL LADO IZQUIERDO; ENTRE AMBOS BANCOS DE LUTITAS EXISTE UNA FRANJA DE 10 METROS DE ESPESOR, DE UNA MEZCLA DE CALIZAS, LUTITAS Y ARENICAS

ENVUELTAS POR SUELOS ARCILLOSOS. LA CONDICION GEOLOGICA DESCRITA FUE DETERMINANTE EN EL DIMENSIONAMIENTO DEL DIQUE.



SISMICIDAD REGIONAL.-

LOS CENTROS DE PERTURBACIONES EN LA VECINDAD DE MALPASO SON POCO NUMEROSOS; LA MAGNITUD DE LOS SISMOS OBSERVADOS ES MENOR DE 6.5 (RICHTER).

SECCION DEL DIQUE.-

LA CIMENTACION FUE DETERMINANTE DEL TIPO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCION, ESTA ES HOMOGENEA, SIMETRICA, CON FILTRO VERTICAL QUE SE UNE A UNA CAPA DE ARENA DE 1.50 M. DE ESPESOR, DISPUESTA EN TODA LA SUPERFICIE DE LA ROCA QUE SUSTENTA EL RESPALDO DE AGUAS ABAJO, LOS TALUDES EXTERIORES PROTEGIDOS CON REZAGA Y ROCA, TIENEN TALUDES DE 10:1 BAJO LA ELEVACION 170 Y AUMENTAN A 3.5:1 DE ESA COTA AL CORONAMIENTO.

TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION.-

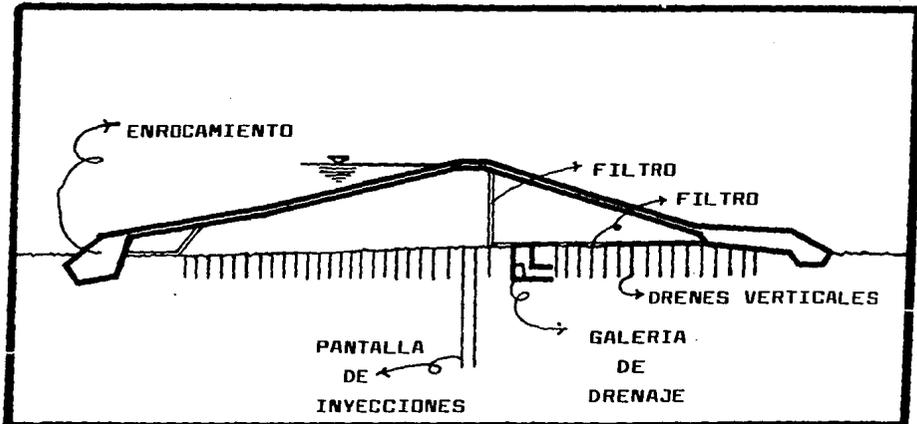
PARA ELIMINAR LA CAPA DE SUELO RESIDUAL, SE REALIZARON EXCAVACIONES PROMEDIO DE 5 M. DE PROFUNDIDAD, LA LIMPIEZA FINAL PARA DESPLANTAR LA ARCILLA COMPACTADA SE FUE REALIZANDO EN FORMA PROGRESIVA CON OBJETO DE EVITAR LA ACCION DEL SECADO EN LAS LUTITAS FISURADAS.

A LA ELEVACION 153 Y DESDE UNA LUMBRERA UBICADA 24 M. AGUAS ABAJO, SOBRE LA MARGEN DERECHA, SE EXCAVO UNA GALERIA DE 330 M. DE LONGITUD QUE PENETRA EN AMBOS LADOS DEL DIQUE; EL OBJETO PRINCIPAL FUE PROPORCIONAR UN DRENAJE EFICIENTE A LA MASA DE ROCA TANTO EN EL VALLE COMO EN LOS EMPOTRAMIENTOS, MEDIANTE PERFORACIONES DE 7.5 cm. DOTADAS DE FILTROS DE ARENA, LA GALERIA SE COMUNICO CON UN TUNEL A LOS FILTROS DE AGUAS ABAJO PARA DRENAR LAS FILTRACIONES POR GRAVEDAD.

BAJO EL AREA TAPIZADA POR LA CAPA DE ARENA QUE SE COMUNICA CON EL FILTRO VERTICAL DEL DIQUE, SE PERFORARON POZOS DE 25 cm. DE DIAMETRO Y 10 M. DE PROFUNDIDAD, A DISTANCIAS DE 5M, QUE SE RELLENARON DE ARENA Y GRAVILLA; LA FINALIDAD DE ESTAS PERFORACIONES FUE ASEGURAR EL ABATIMIENTO DE LA PRESION EN LA CIMENTACION BAJO EL RESPALDO DE AGUAS ABAJO.

LAS PRUEBAS DE ABSORCION DE AGUA REALIZADAS EN LOS SONDEOS DE EXPLORACION, DEMOSTRARON QUE LA PERMEABILIDAD DE LAS LUTITAS, PARTICULARMENTE LAS DE LA MARGEN DERECHA ERA ALTA; EN CIERTAS ZONAS SE REGISTRARON ABSORCIONES HASTA DE 80 LUGEONS, POR ELLO, EN DOS FILAS DE BARRENOS ESPACIADOS ENTRE 8 Y 10 M. Y DE 50 M. DE PROFUNDIDAD, SE INYECTARON LECHADAS DE AGUA-CEMENTO, EN ETAPAS

PROGRESIVAS; LA FALLA SE TRATO CON UN RELLENO ARCILLOSO QUE PUDIERA ABSORVER SUS MOVIMIENTOS.



INSTRUMENTACION.-

SE INSTALARON:

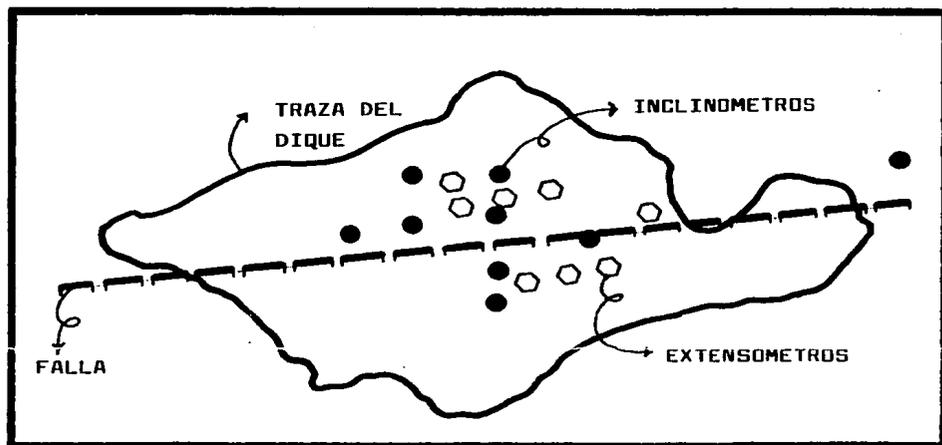
10 ESTACIONES PIEZOMETRICAS

9 INCLINOMETROS

8 EXTENSOMETROS LINEALES

4 BANCOS PROFUNDOS Y SUS REFERENCIAS SUPERFICIALES.

LA DISTRIBUCION DE LOS APARATOS FUE PLANEADA PENSANDO EN UNA FALLA POTENCIAL POR CORTANTE EN LA CIMENTACION, POR ESTO LOS INCLINOMETROS NO PENETRAN A UNA GRAN PROFUNDIDAD Y LOS EXTENSOMETROS LINEALES SE COLOCARON BAJO LA SUPERFICIE DE DESPLANTE; LA MAYORIA DE LOS PIEZOMETROS SE COLOCARON EN LA CIMENTACION AGUAS ARRIBA DEL NUCLEO CENTRAL Y LOS DEMAS AGUAS ABAJO SOLO PARA VERIFICAR LA EFICIENCIA DEL DRENAJE. TODOS LOS INCLINOMETROS FUERON INSTALADOS DESPUES DE LA CONSTRUCCION.



COMPORTAMIENTO.-

ASENTAMIENTOS DE LA CIMENTACION.- LOS MAYORES ASENTAMIENTOS SE PRODUJERON DURANTE LA CONSTRUCCION, EL DIQUE SE CONSTRUYO EN 11 MESES, LOS PRIMEROS 7 MESES LOS ASENTAMIENTOS CRECIERON PROPORCIONALMENTE AL VOLUMEN DE MATERIAL COLOCADO HASTA ALCANZAR UN VALOR DE 4 CM, EL SIGUIENTE MES SE TUVIERON INCREMENTOS BRUSCOS DE 7 CM. Y LOS ULTIMOS MESES DE 13 Y 14 CM, EL PRIMER LLENADO DEL EMBALSE NO PRODUJO AUMENTO IMPORTANTE EN LOS ASENTAMIENTOS, TODAS ESTAS MEDICIONES FUERON HECHAS POR MEDIO DE LOS BANCOS PROFUNDOS.

DEFORMACIONES HORIZONTALES.- LOS EXTENSOMETROS SE INSTALARON EN UNA ZANJA A MENOS DE 1 M. DE LA SUPERFICIE DE DESPLANTE Y PARALELOS AL RUMBO DE LA FALLA.

DURANTE LA CONSTRUCCION, OCURREN LOS MOVIMIENTOS MAS IMPORTANTES Y LOS EFECTOS DEL EMPUJE HIDROSTATICO POR VARIACION DEL NIVEL DEL EMBALSE NO SON SIGNIFICATIVOS; TODOS LOS EXTENSOMETROS COLOCADOS EN DIFERENTES SITIOS MARCAN DESPLAZAMIENTOS DEL ORDEN DE 2, 3 Y 4 MM. Y EL MAYOR DE 8MM. AL FINALIZAR LA CONSTRUCCION.

INCLINACION.- LOS DESPLAZAMIENTOS MEDIDOS CON LOS INCLINOMETROS, INDICAN QUE LOS ASENTAMIENTOS MAXIMOS BAJO LA ELEVACION 160 HAN SIDO DE 3 CM. Y LOS HORIZONTALES A LA ELEVACION 135 HAN SIDO MENORES A 10 CM. , Y QUE SE CONSIDERAN RELATIVAMENTE IMPORTANTES, PERO NO REPRESENTAN UN CRECIMIENTO ALARMANTE.

MEDICIONES PIEZOMETRICAS.- LAS MEDICIONES CON PIEZOMETROS INDICAN QUE EL RELLENO ARCILLOSO DE LA FALLA CONSTITUYE UNA BARRERA IMPERMEABLE AL FLUJO DE AGUA Y QUE EN LA ELEVACION 172 LOS NIVELES PIEZOMETRICOS CORRESPONDEN A UNA ELEVACION HIDRAULICA INDEPENDIENTE DE LA CREADA POR EL LLENADO DEL VASO Y QUE EXISTIA EN EL SITIO.

EL AGUA DRENADA POR LAS GALERIAS NOS INDICA QUE SI EXISTEN FILTRACIONES, PERO NINGUNA DE CARACTER IMPORTANTE.

CONCLUSION.-

DEL ANALISIS DE LAS MEDICIONES, SE CONCLUYE QUE LA DISTRIBUCION DE LOS INSTRUMENTOS NO FUE LA MAS ADECUADA PARA OBSERVAR LOS MOVIMIENTOS DE LA CIMENTACION, DEBIDO A QUE SE INSTALARON CON PRIORIDAD A DETECTAR UNA POSIBLE FALLA POR CORTANTE, ASI, SE CREYO INNECESARIO PENETRAR LOS INCLINOMETROS

ABAJO DE LA ELEVACION 135, PERO AUN ASI SE PUEDE CONCLUIR DE ESTAS OBSERVACIONES, QUE NO SE HAN REGISTRADO TENDENCIAS DE REACTIVACION DE LA FALLA, NI DEL DESARROLLO DE UNA SUPERFICIE DE CORTANTE EN LA CIMENTACION POR EFECTO DEL EMPUJE HIDROSTATICO SOBRE EL DIQUE.

IV.2.2 SEGUNDO CASO

ESTE CASO SE PRESENTA CUANDO LA ROCA O SUELO QUE POSEE LAS CARACTERISTICAS ADECUADAS PARA EFECTUAR EL DESPLANTE, SE ENCUENTRA CUBIERTA DE MATERIAL CON MALAS CARACTERISTICAS MECANICAS, Y A UNA PROFUNDIDAD EN LA QUE SI NOS CONVIENE TECNICA Y/O ECONOMICAMENTE DESCUBRIRLA PARA LIGAR EL CORAZON IMPERMEABLE DE LA CORTINA CON LA ROCA DE PROPIEDADES ADECUADAS.

ESTA PROFUNDIDAD GENERALMENTE ES MENOR DE 25 M. PERO NO SE PUEDE BASAR LA DECISION EN ESTE PARAMETRO, SINO QUE SE DEBE DE SOMETER A UN ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO, PARA DETERMINAR EL METODO CONSTRUCTIVO.

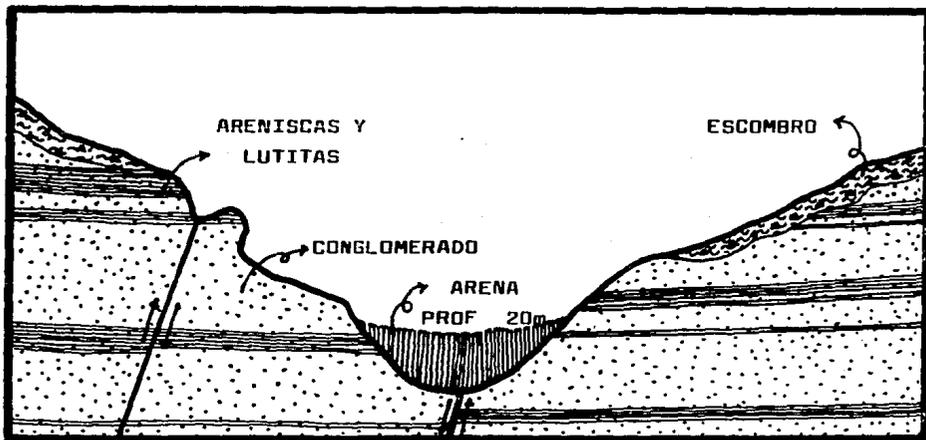
UN EJEMPLO REPRESENTATIVO DE ESTE CASO SE VE EN LA CORTINA DE LA PRESA NETZAHUALCOYOTL, QUE SE ANALIZARA A CONTINUACION:

-CORTINA PRESA NETZAHUALCOYOTL (MALPASO).-

CORTINA.- DE 138 M. DE ALTURA Y TIENE 478 M. DE LONGITUD EN LA CORONA, CONSTITUIDA POR UN CORAZON IMPERMEABLE DE ARCILLA COMPACTADA, CENTRAL Y SIMETRICO, PROTEGIDO POR FILTROS, LOS TALUDES EXTERIORES DE 2:1 ESTAN CUBIERTOS POR ROCA PESADA, PARA

DESVIAR EL RIO SE CONSTRUYERON 5 TUNELES DE 14 M. DE DIAMETRO, TRES EN LA MARGEN DERECHA Y DOS EN LA IZQUIERDA CON LONGITUDES TOTALES DE 2390 Y 1734 M. RESPECTIVAMENTE; COMO YA SE DIJO, FUE NECESARIO CERRAR EL VASO CON TRES DIQUES UBICADOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO LA VENTA.

GEOLOGIA.- SE ENCONTRO HASTA LA PROFUNDIDAD EXPLORADA LA SERIE DE CONGLOMERADOS BIEN CEMENTADOS, CON MATERIAL ARENO-ARCILLOSO NO SOLUBLE E IMPERMEABLE; DENTRO DE ESTA ROCA SE ENCUENTAN LENTES DE ARENIZCA O LUTITAS MUY COMPACTADAS CON ESPESOR MENOR DE 6 M., EL CONGLOMERADO APARECE CORTADO POR DOS FALLAS TRANSVERSALES AL EJE DE LA CORTINA E INCLINADAS HACIA LA MARGEN IZQUIERDA, EMPACADAS CON MATERIAL ARCILLOSO, LAS PARTES ALTAS DEL SITIO ESTAN CUBIERTAS POR SUELO RESIDUAL PRODUCTO DEL INTEMPERISMO DEL CONGLOMERADO CUYO ESPESOR VARIA DE 3 A 18 M.



SECCION DE LA CORTINA.- EL CORAZON IMPERMEABLE SE FORMO COMPACTANDO CAPAS DE MATERIAL ARCILLOSO CON 6 M. DE ESPESOR EN LA CORONA Y 60 M. EN LA BASE; LA CARA AGUAS ABAJO DEL NUCLEO ESTA PROTEGIDA POR UN FILTRO DE ARENA BIEN GRADUADA DE 4 M. DE ESPESOR, LAS TRANSICIONES SON DE GRAVA Y ARENA COMPACTADA.

TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION.- SE ELIMINARON LOS SUELOS RESIDUALES QUE CUBREN EL CONGLOMERADO EN TODA EL AREA DE DESPLANTE; EN EL CAUCE SE EXCAVO EL DEPOSITO DE ARENA BAJO EL CORAZON ARCILLOSO Y EL RESPALDO IMPERMEABLE DE AGUAS ABAJO; EN CAMBIO AGUAS ARRIBA DEL NUCLEO SOLO SE HIZO UNA LIMPIEZA SUPERFICIAL, ASI LA MASA PERMEABLE QUEDO ASENTADA SOBRE EL MANTO DE ARENA.

EN EL DESPLANTE DEL NUCLEO SE REALIZARON EXCAVACIONES PARA ELIMINAR CAMBIOS BRUSCOS DE PENDIENTE, EL TALUD MAXIMO ACEPTADO FUE DE 1 HORIZONTAL Y 8 VERTICAL.

LAS DOS FRACTURAS QUE SE DESCUBRIERON AL LIMPIAR EL CAUCE, SE LIMPIARON HASTA LA PROFUNDIDAD DE 1 M. EN FORMA DE CUNA RELLENANDOLAS DE CONCRETO, Y DESPUES SE INYECTARON HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 15 M. MEDIANTE PERFORACIONES CRUZADAS Y CON UNA MEZCLA DE AGUA-CEMENTO.

INSTRUMENTACION.-

SE INSTALARON:

9 INCLINOMETROS EN EL EJE Y RESPALDOS.

14 PIEZOMETROS DENTRO DEL NUCLEO IMPERMEABLE.

5 LINEAS DE BANCOS PARA MEDIR ASENTAMIENTOS.

COMPORTAMIENTO.-

INCLINOMETROS.- LAS DEFORMACIONES HORIZONTALES CASI FUERON NULAS DURANTE LOS DOS PRIMEROS AÑOS, PERO A RAIZ DEL CIERRE FINAL DE LA PRESA Y LA SUBIDA DE AGUA EN EL VASO, OCURRE UNA DEFORMACION SIGNIFICATIVA, CON UN MAXIMO DE 6.5 cm. A LA ELEVACION 135, QUE SE MANIFESTO POR UNA FLEXION DEL NUCLEO A 17 M. BAJO LA CORONA, LAS OBSERVACIONES SIGUIENTES TIENEN VARIACIONES DE 2 A 3 CM. PERO SIN CAMBIO SUSTANCIAL.

ASENTAMIENTOS.- LA VARIACION ES LINEAL DURANTE LA CONSTRUCCION, CON RESPECTO AL AVANCE EN LA COLOCACION DEL MATERIAL, LOS ASENTAMIENTOS DESPUES DE LA CONSTRUCCION, SON MENORES DE 35 CM. EN ALGUNOS INCLINOMETROS, PERO LOS DE LA MARGEN DERECHA INDICAN QUE CASI LA TOTALIDAD DEL ASENTAMIENTO OCURRIO POCO DESPUES DE LA CONSTRUCCION, Y CON UN VALOR DE 80 CM.; EN CAMBIO LAS MEDICIONES TOMADAS EN BANCO, CON CINTA INDICAN UN ASENTAMIENTO MAXIMO EN LA CORONA DE 60 CM., LO QUE SE PODRIA EXPLICAR CON QUE LA PARTE CENTRAL DE LA ESTRUCTURA ESTA SOMETIDA A COMPRESION Y EXTENSION.

OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS.- SEGUN LOS VALORES MEDIDOS CON LOS PIEZOMETROS, EXISTEN FILTRACIONES EN ALGUNOS LUGARES DE LA OBRA, COMO CASA DE MAQUINAS, TUNELES DE DESVIO, Y VERTEDORES; COMO

TODOS LOS PIEZOMETROS ESTAN COLOCADOS DENTRO DEL NUCLEO IMPERMEABLE, LA INFORMACION NO ES COMPLETA, PERO SE ESTIMA QUE EL FLUJO TOTAL A TRAVES DE LA OBRA NO ES MUY IMPORTANTE.

CONCLUSION.- LA LOCALIZACION DE LOS APARATOS EN LA CORTINA, FUE INFLUENCIADA POR LA PREOCUPACION DE QUE SE GENERARAN DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES A LO LARGO DE LA ESTRUCTURA, DEBIDO A FUERTES CAMBIOS DE PENDIENTE EN LA CIMENTACION, Y QUE ES LA CAUSA PROBABLE DE GRIETAS TRANSVERSALES AL NUCLEO; NO SE TUVO LA PRECAUCION DE INSTALAR INSTRUMENTOS EN PLANOS CERCANOS A LA SECCION MAXIMA, Y LA INFORMACION QUE SE OBTUVO, NO HA PERMITIDO UNA COMPARACION DIRECTA CON LOS RESULTADOS QUE SE ESPERABAN.

IV.2.3 TERCER CASO

ESTE CASO SE PRESENTA CUANDO LA CAPA DE MATERIAL DE BAJAS PROPIEDADES MECANICAS, ES DEMASIADO PROFUNDA, Y NO RESULTA POSIBLE TECNICA O ECONOMICAMENTE, REMOVERLA PARA LLEGAR A LA ROCA O SUELO SANO.

COMO MENCIONAMOS EN EL INCISO ANTERIOR, EL PARAMETRO GENERALMENTE ES DE 25 M. PERO CABE REPETIR QUE ES NECESARIO REALIZAR UN ANALISIS PROFUNDO, TECNICO Y ECONOMICO QUE NOS INDIQUE LA ACCION A SEGUIR EN CADA CASO.

EN ESTA SITUACION, EXISTEN MUCHAS SOLUCIONES, COMO YA SE MENCIONO EN EL INCISO DE TRATAMIENTO EN SUELOS GRANULARES, Y NO SE PUEDE DECIR QUE EXISTA UNA SOLUCION MEJOR QUE OTRA, SINO QUE DEPENDERA DE LAS CONDICIONES EN CADA CASO.

A PESAR DE LO ANTERIOR, LO QUE GENERALMENTE SE REALIZA ES TRATAR DE DISMINUIR LOS EFECTOS QUE ACARREAN LAS FILTRACIONES DE AGUA, TRATANDO DE DETENERLAS DESVIANDO EL FLUJO DE AGUA, PARA QUE ESTA TENGA TRAYECTORIAS LARGAS Y PASE A TRAVES DE UN MEDIO MENOS PERMEABLE.

COMO EJEMPLO DE ESTE CASO, ANALIZAREMOS EL TRATAMIENTO DE CIMENTACION QUE SE LE APLICO A LA PRESA FRANCISCO ZARCO (LAS TORTOLAS).

PRESA FRANCISCO ZARCO (LAS TORTOLAS).-

CON OBJETO DE APROVECHAR EN FORMA MAS EFICIENTE LAS EXTRACCIONES Y LOS DERRAMES EXCEDENTES DE LA PRESA LAZARO CARDENAS, ASI COMO MEJORAR LA REGULACION DE CRECIENTES EN EL RIO NAZAS, SE CONSTRUYO SOBRE ESTE RIO (EDO. DE DURANGO) LA PRESA LAS TORTOLAS, CUYA AGUA ALMACENADA SE DESTINA AL RIEGO DE LA REGION LAGUNERA.

AREA DE LA CUENCA.- ENTRE LA PRESA LAZARO CARDENAS Y EL SITIO DE LAS TORTOLAS ES DE 19,085 KM2.

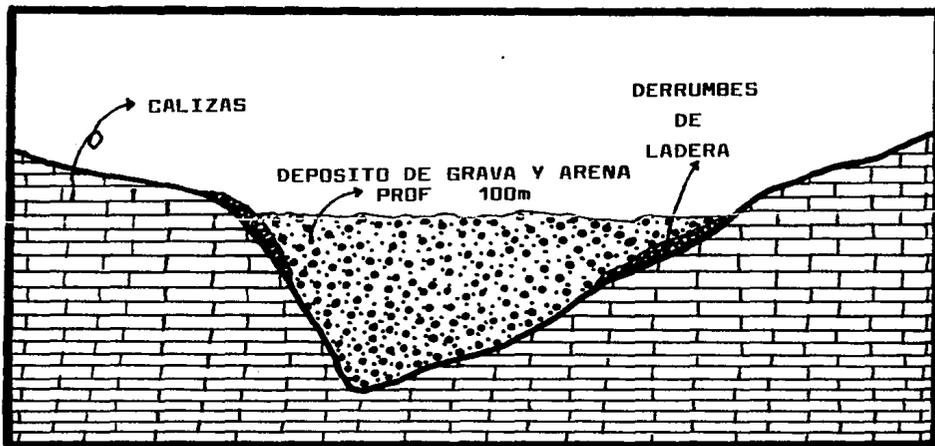
DIMENSIONES. -ALTURA= 33 m.

LONGITUD= 480 m.

SECCION.- FORMADA POR UN NUCLEO CENTRAL DE ARCILLA COMPACTADA, Y RESPALDOS PERMEABLES DE GRAVA Y ARENA, PROTEGIDOS EXTERIORMENTE POR ENROCAMIENTO; ENTRE EL CORAZON IMPERMEABLE Y EL RESPALDO DE AGUAS ABAJO, SE HA DISPUESTO UN FILTRO DE ARENA-GRAVA BIEN GRADUADA DE 5 M. DE ESPESOR. EL VOLUMEN TOTAL DE LA ESTRUCTURA

ES DE 870,500 M3.

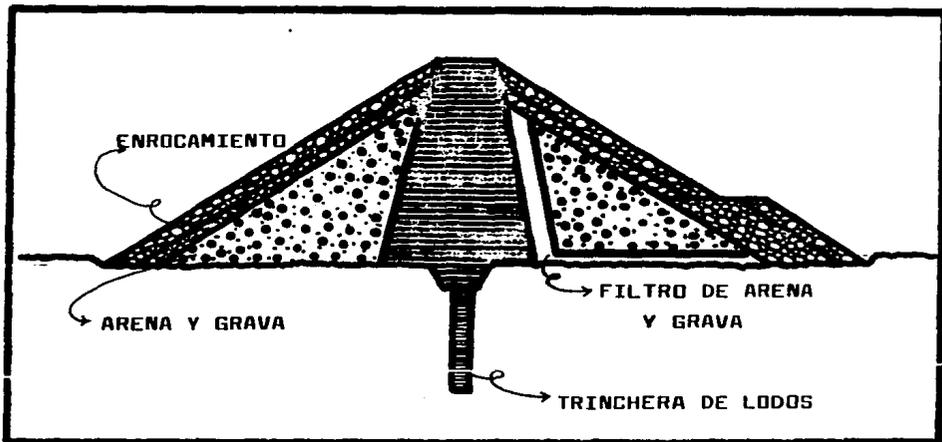
LA PRESA SE INSTRUMENTO CON APARATOS DIVERSOS PARA OBSERVAR SU COMPORTAMIENTO; PARTICULARMENTE EN LO QUE SE REFIERE AL FLUJO POR LA CIMENTACION (POTENTE DEPOSITO ALUVIAL DE GRAVAS Y ARENAS).



GEOLOGIA.- EL SITIO LAS TORTOLAS, DE UNOS 300 M. DE ANCHO, ESTA LABRADO EN EL LADO OCCIDENTAL DE UN ANTICLINAL DE CALIZAS, A TRAVES DEL CUAL PASA EL RIO NAZAS.

ESTAS CALIZAS CONTIENEN CAPAS DE LUTITAS, CON ESPESOR TOTAL APROXIMADO DE 40 M.

LAS CALIZAS PRESENTAN CONDUCTOS DE DISOLUCION A LO LARGO DE FRACTURAS Y PLANOS DE ESTRATIFICACION; EN EL CAUCE ESTAN CUBIERTAS DE MATERIALES DE ACARREO HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 125 M.



ESTE DEPOSITO ALUVIAL ESTA FORMADO POR GRAVAS Y ARENAS, CON UNA CAPA SUPERFICIAL DE SUELO ARENOLIMOSO.

LOS TRES PRINCIPALES PROBLEMAS QUE PLANTEO EL SITIO FUERON:

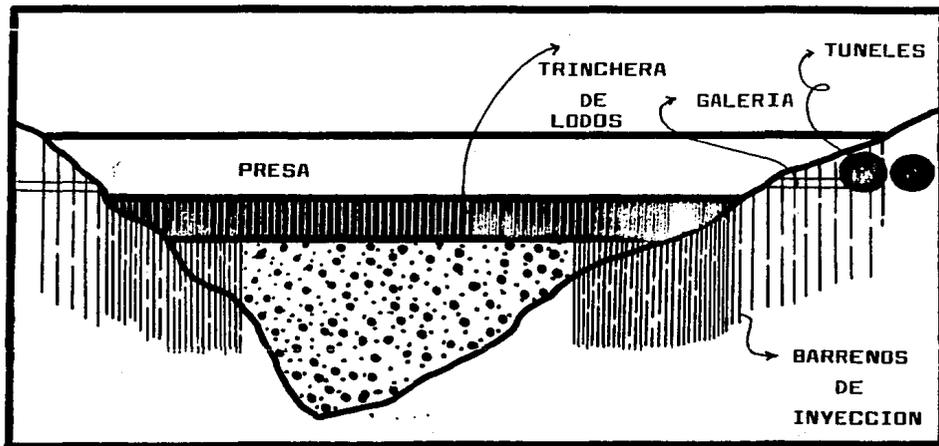
1.-EL ESPESOR DEL DEPOSITO ALUVIAL HACIA ANTIECONOMICO REMOVERLO, O INTERCEPTARLO CON UNA PANTALLA TOTAL.

2.-LA PERMEABILIDAD DE LOS EMPOTRAMIENTOS DEBIDO A LA KARSTICIDAD DE LAS CALIZAS.

3.-LA ESTABILIDAD DE LOS CORTES EN LA ENTRADA DE LA OBRA DE TOMA Y VERTEDORES DEBIDO A LA PRESENCIA DEL DEPOSITO ALUVIAL EN EL CAUCE, CON UN ANCHO DE 300 M. LA SOLUCION PREVISTA PARA LA CORTINA, FUE UNA PRESA DE TIERRA Y RESPALDOS PERMEABLES, DOTADA DE UNA PANTALLA COMPRESIBLE, DE 20 M. DE PROFUNDIDAD, DEBAJO DEL CORAZON IMPERMEABLE.

LA CONVENIENCIA DE CONSTRUIR ESTA PANTALLA SE BASO EN LOS ESTUDIOS DE PERMEABILIDAD, Y SU OBJETIVO PRINCIPAL FUE ALTERAR EL FLUJO DE AGUA POR LA CIMENTACION, A MODO DE REDUCIR AL MINIMO LA EROSION INTERNA DEL MANTO.

DEBIDO A LA GRAN ABUNDANCIA DE MATERIALES GRANULARES EN EL LUGAR, SE DECIDIO APROVECHAR ESTE MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION DE LA CORTINA, PROTEGIENDO LOS TALUDES EXTERIORES CON ROCA PESADA.



TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION.-

PARA FACILIDAD EN EL ESTUDIO DE ESTE TRABAJO, SE PUEDE DIVIDIR EN CUATRO PARTES:

- 1.- CONSTRUCCION DE LA PANTALLA IMPERMEABLE
- 2.- EXCAVACION EN LAS LADERAS PARA ALOJAR EL NUCLEO ARCILLOSO
- 3.- INYECTADO DE LA ROCA EN LAS LADERAS
- 4.- DRENAJE DE LAS LADERAS POR MEDIO DE GALERIAS.

1.- PANTALLA IMPERMEABLE

CON EL FIN DE AUMENTAR LA LONGITUD DEL PASO DE LA FILTRACION BAJO LA PRESA, SE CONSTRUYO UNA PANTALLA VERTICAL FLEXIBLE, CON PROFUNDIDAD DE 20 M. A LO LARGO DEL EJE DE LA CORTINA DEL TIPO TRINCHERA DE LODOS; TIENE TRES m. DE ANCHO Y ESTA LIGADA AL CORAZON IMPERMEABLE MEDIANTE UN PRISMA TRAPEZOIDAL QUE EN LA BASE SUPERIOR TIENE 12 M. DE ANCHO.

LA EXCAVACION SE HIZO CON UNA DRAGA MECANICA DE 6.5 YD3. HASTA LA PROFUNDIDAD DE PROYECTO SE COLOCO LODO BENTONITICO PARA ESTABILIZAR LAS PAREDES; EL RELLENO SE HIZO CON UNA MEZCLA DEL 78 % EN PESO DE GRAVA-ARENA, 15% DE LIMO Y 7% DE BENTONITA; LA MEZCLA SE COLOCABA CON UNA CUCHARA DE GAJOS; LA CONSTRUCCION SE EJECUTO EN TRES TRAMOS, PRIMERO LAS ADYACENTES A LAS LADERAS, Y LUEGO LA CENTRAL, POSTERIORMENTE SE AMPLIO LA SECCION PARA CONSTRUIR EL PRISMA DE LIGA CON EL CORAZON IMPERMEABLE.

2.-LIMPIA SUPERFICIAL Y EXCAVACION DE LADERAS.-

SE HIZO UNA LIMPIA SUPERFICIAL DE 1 A 2 M. CON OBJETO DE REMOVER SUELOS Y ESCOMBRO DE TALUD EN AMBAS LADERAS, EN EL CONTACTO NUCLEO-ROCA SE EXCAVARON TRINCHERAS CON PROFUNDIDAD DE 6M. PARA EMPOTRAR EL NUCLEO IMPERMEABLE.

3.-INYECTADO DE LOS EMPOTRAMIENTOS.-

EN TRAMOS DE 30 M. DE LONGITUD, SE INYECTARON LAS LADERAS, A TRAVES DE LA PANTALLA MEDIANTE TRES LINEAS DE PERFORACIONES CON PROFUNDIDAD VARIABLE ENTRE 20 Y 50 M., EL ESPACIAMIENTO DE LOS BARRENOS FUE DE 2.5 M. A 10 M. DEPENDIENDO DEL CONSUMO DE LECHADA; POSTERIORMENTE DESDE LA SUPERFICIE Y GALERIAS, SE INYECTO LA LADERA IZQUIERDA EN 160 M. Y LA DERECHA EN 250 M. DEBIDO A QUE LA DERECHA ES MUCHO MAS PERMEABLE QUE LA IZQUIERDA.

4.- GALERIAS DE DRENAJE.-

SON 2 TUNELES DE SECCION 1.5X2.5 M. EXCAVADOS EN LAS LADERAS CON EL PROPOSITO DE REALIZAR EL INYECTADO PROFUNDO Y DRENAJE AUXILIAR.

INSTRUMENTACION.-

SE INSTALARON:

- 3 INCLINOMETROS EN EL NUCLEO ARCILLOSO
- 2 INCLINOMETROS EN EL RESPALDO AGUAS ABAJO
- 9 NIVELES HIDRAULICOS EN EL NUCLEO ARCILLOSO
- 6 NIVELES HIDRAULICOS EN EL RESPALDO DE AGUAS ABAJO
- 6 EXTENSOMETROS EN EL NUCLEO ARCILLOSO
- 4 EXTENSOMETROS EN EL RESPALDO DE AGUAS ABAJO
- 8 PIEZOMETROS EN EL DEPOSITO ALUVIAL DE AGUAS ABAJO
- 9 BANCOS SUPERFICIALES EN LA CORONA DE LA PRESA

COMPORTAMIENTO.-

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES.- PARALELAMENTE AL RIO, EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL TIENE UNA TENDENCIA A INCREMENTARSE DEPENDIENDO DE LA ELEVACION, Y PRESENTA UNA MODERADA FLEXION EN EL NUCLEO. LOS MAXIMOS MEDIDOS FUERON DE 10 CM.

ASENTAMIENTOS.- SE REGISTRO UN ASENTAMIENTO PROGRESIVO, CASI LINEAL EN FUNCION DEL TIEMPO CON VALORES MAXIMOS DE 4 A 5 CM.

OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS.- LOS GRUPOS DE PIEZOMETROS REFLEJAN LAS OSCILACIONES DEL AGUA EN EL EMBALSE, REGISTRANDO UNA CARGA, DE APROXIMADAMENTE UN TERCIO DE LA CARGA DEL VASO, Y CON TENDENCIA A DISMINUIR. LA FILTRACION AFORADA TOTAL FUE DE 40 LT/S.

CONCLUSIONES.- TRES FUERON LOS ASPECTOS QUE NORMARON LA DISTRIBUCION DE LA INSTRUMENTACION DE LA PRESA:

- 1.-LAS PRESIONES NATURALES AGUAS ABAJO DE LA PANTALLA IMPERMEABLE.
- 2.-LOS ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES EN LA BASE DE LA CORTINA.
- 3.-LA INFLUENCIA DE LA TRINCHERA DE LODOS EN LAS DEFORMACIONES Y ESFUERZOS DE LA PROPIA ESTRUCTURA.

AUNQUE LAS MEDICIONES DE FLUJO DEMUESTRAN QUE EL AFLORAMIENTO DE AGUA DE 40 LT/S. ES SOLO EL 4 % DEL ESTIMADO COMO PERDIDA A TRAVES DE LA CIMENTACION, ESTE BUEN FUNCIONAMIENTO NO SE PUEDE ASEGURAR QUE SE DEBA A LA PANTALLA DE LODOS, YA QUE LA EFECTIVIDAD IMPERMEABLE DE ESTA, SE ESTIMA EN SOLO UN 20 % ; AUN

CON ESTAS INCONGRUENCIAS ES MUY POSIBLE QUE EN UN CASO SIMILAR, AL DE LAS TORTOLAS, SE VUELVA A ESCOGER EL MISMO TRATAMIENTO POR SU BUEN FUNCIONAMIENTO TANTO HIDRAULICO COMO DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES, YA QUE LOS ASENTAMIENTOS MAS GRANDES QUE FUERON CAUSADOS POR LA INFLUENCIA DE LA PANTALLA DE LODOS Y NO POR EL RELLENO ALUVIAL COMO SE ESPERABA, NO SON MUY GRANDES.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

EL CONTACTO ENTRE LA CORTINA Y LA ZONA DE DESPLANTE ES UNA PARTE VITAL DE LA ESTRUCTURA EN SU CONJUNTO POR LO QUE DEBE ESTUDIARSE Y DISEÑARSE CON LA ATENCION ADECUADA.

POR LO QUE SE REFIERE A ESTE TRATAMIENTO, LAS ESPECIFICACIONES CORRESPONDIENTES DEJAN POR LO GENERAL UN AMPLIO MARGEN DE INTERPRETACION Y NO PUEDEN DEFINIRSE ANTICIPADAMENTE CON DETALLE, DEBIDO A QUE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA ZONA SE CONOCEN GENERALMENTE HASTA QUE LA SUPERFICIE DE LA MISMA ESTA EXPUESTA, Y EN ALGUNOS CASOS DESPUES DE EFECTUAR EXPLORACIONES GEOLOGICAS ADICIONALES.

LOS METODOS MENCIONADOS EN ESTE TRABAJO NO SE ENCUENTRAN TOTALMENTE DESARROLLADOS DEBIDO A QUE AUN PRESENTAN PROBLEMAS EN EL COMPORTAMIENTO, POR LO QUE ES IMPORTANTE QUE SE SIGAN ESTUDIANDO Y PERFECCIONANDO PARA QUE TENGAN UN FUNCIONAMIENTO DE ACUERDO A LO PLANEADO.

LA INSTRUMENTACION ES UN ELEMENTO ESENCIAL EN EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE PRESAS FALTANDO POR DESARROLLAR Y CORREGIR SUS FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO; SU IMPORTANCIA RADICA EN QUE AL CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE UNA CORTINA NOS INDICA QUE TAN EFECTIVO HA SIDO EL TRATAMIENTO Y LA PAUTA A SEGUIR EN LOS SIGUIENTES TRABAJOS.

BIBLIOGRAFIA

- COMPORTAMIENTO DE PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO I
S.R.H., C.F.E., INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.

- COMPORTAMIENTO DE PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO II
S.R.H., C.F.E., INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.

- CONSTRUCCIONES EN ROCA
COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO.

- MANUAL DE MECANICA DE SUELOS TOMO IV
S.A.R.H.

- INYECCION DE SUELOS
HENRI CAMBEFORT.