

27-52



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

INTERACCION ENTRE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO HIDRAULICO

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a n

LENIN CORONEL RUBIO
CATARINO CRUZ ACEVEDO



México, D F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL

AVENIDA DE
MEXICO

Señores CORONEL RUBIO LENIN
CRUZ ACEVEDO CATARINO
P R E S E N T E .

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-242

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Federico Alcaraz Lozano, para que lo desarrollen como SEMINARIO DE TESTS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"INTERACCION ENTRE LOS COMPONENTES DEL
CONCRETO HIDRAULICO"

- I. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO
- II. COMPONENTES DEL CONCRETO
- III. COMPONENTES DEL CEMENTO
- IV. REACCIONES QUIMICAS DEL CONCRETO
- V. MODIFICACIONES Y CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO POR MEDIO DE ADITIVOS Y AGREGADOS ESPECIALES
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del SEMINARIO DE TESTS, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 3 de noviembre de 1986
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

OARCH/GZM/ard.-

I N D I C E

	pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
CARACTERISTICAS DEL CONCRETO	4
A) CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO	6
B) CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO	9
CAPITULO II	
COMPONENTES DEL CONCRETO	15
A) AGREGADOS	16
A.1) CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS	16
A.2) PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	19
B) CEMENTO	21
B.1) TIPOS DE CEMENTO	21
B.2) PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND	24
C) AGUA	27
CAPITULO III	
COMPONENTES DEL CEMENTO	32
A) FABRICACIÓN DEL CEMENTO	33
B) COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND	38

CAPITULO IV

	pág.
REACCIONES QUÍMICAS DEL CONCRETO	45
A) REACCIONES QUÍMICAS DEL CONCRETO FRESCO	46
A.1) HIDRATACIÓN DE LOS CEMENTOS	46
A.2) EFECTO DE LA CONGELACIÓN	50
A.3) HIDRATACIÓN DE LOS COMPUESTOS DEL CLINKER	51
B) REACCIONES QUÍMICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO	53
B.1) REACCIÓN DE LOS SULFATOS	55
B.2) REACCIÓN CON EL AGUA DE MAR	56
B.3) REACCIÓN CON LOS ÁCIDOS	56
B.4) EFLORESCENCIA	57

CAPITULO V

MODIFICACIONES Y CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO POR MEDIO DE ADITIVOS Y AGREGADOS ESPECIALES.	59
A) ADITIVOS	60
A.1) MEJORADORES DE LA MANEJABILIDAD DEL CONCRETO O PLASTIFICANTES	63
A.2) MODIFICADORES DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y DE ENDURECIMIENTO	67
A.3) IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES	70
A.4) AGENTES EXPANSORES	71
A.5) MATERIALES PULVERIZADOS	74
A.6) AGENTES DE ADHERENCIA	76
A.7) ANTICORROSIVOS	77
A.8) COLORANTES	78

	pág.
B) AGREGADOS ESPECIALES	79
B.1) CONCRETOS PESADOS	79
B.2) CONCRETOS LIGEROS	81
B.3) CONCRETOS ESPECIALES	83
C) PUZOLANAS	85

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	95
--------------	----

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA	98
--------------	----

INTRODUCCION

INTRODUCCION "

DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE TIENEN LOS CONCRETOS EN EL RAMO DE LA CONSTRUCCIÓN EN GENERAL, A CONTINUACIÓN PRESENTAMOS UNA DESCRIPCIÓN DE LAS REACCIONES QUE SUCEDEN DENTRO DE UN CONCRETO EN TODAS SUS ETAPAS, DESDE - QUE SE INICIA EL CONTACTO DEL CEMENTO CON EL AGUA, HASTA QUE ÉSTE ACTUA PA RA LO QUE FUÉ DISEÑADO, SIENDO O NÓ MODIFICADO POR ADITIVOS O AGREGADOS ES PECIALES.

LA IDEA MAS QUE NADA, ES PROPORCIONAR ARMAS PARA LA ELECCIÓN ADECUADA DEL TIPO DE COMPONENTES Y ADITIVOS QUE DEBERÁN USARSE EN UNA MEZCLA DE CONCRETO DEPENDIENDO DE LAS NECESIDADES QUE SE TENGAN. TODOS CONOCEMOS EL - CONCRETO COMO UNA MEZCLA ELABORADA A BASE DE CEMENTO, AGUA Y AGREGADOS, PE RO NO TENEMOS UNA GUÍA PARA CONOCER SUS REACCIONES AL PONERLO EN CONTACTO - CON AGENTES NATURALES Ó ARTIFICIALES, LOS CUALES MODIFICAN SU ESTRUCTURA FI NAL Y PODRÍA SER QUE HASTA SU RESISTENCIA DE TRABAJO. ENTENDIENDO Y CONOCIEN DO LO QUE SUCEDE DENTRO DE LA MEZCLA DE CONCRETO, Y CONOCIENDO LOS AGENTES - MODIFICANTES UNO A UNO, SE PUEDE LLEGAR A USARLOS ADECUADAMENTE PARA MODIFI CAR ÉSTE A CAPRICO NUESTRO, Y ASÍ TENER UN CONCRETO QUE SATISFAGA NUESTRAS NECESIDADES.

PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS, EL USO DE ADITIVOS Y EL USO DE AGREGADOS EXISTE BASTANTE INFORMACIÓN, PERO ÉSTA SE NOS PRESENTA EN COMPEN DIOS INDIVIDUALES, POR TAL RAZÓN, SE ELIGIÓ LA ELABORACIÓN DE ÉSTA TESIS - DONDE SE REUNIERA LA INFORMACIÓN EN UN SOLO TOMO, ADEMÁS COMPRIMIR LA INFOR

MACIÓN DE TAL FORMA QUE CUALQUIER PERSONA TENGA ACCESO TÉCNICO PARA EL USO DE ÉSTA. ASÍ PUES, ESPERANDO QUE SEA DE UTILIDAD PARA LA POBLACIÓN INGENIERIL, EL ESTUDIANTADO Y EN GENERAL AL USUARIO DEL CONCRETO, PONEMOS A SU DISPOSICIÓN ESTA TESIS.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO

INTRODUCCION

EL CONCRETO, COMO SE CONOCE ACTUALMENTE, ES UN MATERIAL DE CONSTRUCCION, CUYAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEPENDEN DEL DISEÑO Y CONTROL DE LOS MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN. ESTOS MATERIALES CONSTITUYENTES SON LA PASTA DE CEMENTO, UN MEDIO DE UNIÓN ENDURECIDO QUE SE FORMA POR LA REACCIÓN QUÍMICA ENTRE EL CEMENTO Y EL AGUA, Y EL AGREGADO AL CUAL LA PASTA SE ADHIERE EN UN MAYOR O MENOR GRADO.

EL AGREGADO, EL CEMENTO Y EL AGUA SE MEZCLAN Y EN ESTE ESTADO FORMAN UNA MASA PLÁSTICA MANEJABLE, PROPIEDAD QUE PERMITE SU MOLDEADO EN CUALQUIER FORMA DESEADA. EN POCAS HORAS DE LA PREPARACIÓN DE LA MEZCLA, EL CEMENTO Y EL AGUA SUFREN SU COMBINACIÓN QUÍMICA, CONOCIDA COMO HIDRATACIÓN, DE LA CUAL RESULTA LA SOLIDIFICACIÓN DE LA MEZCLA Y SU ENDURECIMIENTO GRADUAL. EL PROCESO DE ENDURECIMIENTO PUEDE CONTINUAR INDEFINIDAMENTE BAJO CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA FAVORABLES, CON UN INCREMENTO GENERAL EN LA CALIDAD DEL CONCRETO.

A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN AL CONCRETO FRESCO Y AQUELLAS QUE SE PRESENTAN EN EL CONCRETO ENDURECIDO:

A) CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO

TRABAJABILIDAD

LA TRABAJABILIDAD SE DEFINE COMO LA FACILIDAD QUE PRESENTA EL CONCRETO PARA SER TRANSPORTADO, COLOCADO Y COMPACTADO, ES NECESARIO HACER NOTAR QUE LA TRABAJABILIDAD ES UN CONCEPTO RELATIVO, PUES UNA BUENA TRABAJABILIDAD EN UN CONCRETO MASIVO, PUEDE NO SER SUFICIENTE PARA SECCIONES PEQUEÑAS O CON MUCHO REFUERZO.

UNIFORMIDAD

CONSIDERANDO AL CONCRETO COMO UN MATERIAL HETEROGÉNEO PRODUCIDO POR EL MEZCLADO DE DIVERSOS COMPONENTES EN CANTIDADES ESTABLECIDAS, ES NECESARIO QUE ESTA MEZCLA SEA UNIFORME, DE BUENA COHESIÓN Y NO SEGREGABLE.-- PARA QUE LO ANTERIOR SE CUMPLA ES NECESARIO QUE SE PRESENTEN LAS DOS CONDICIONES SIGUIENTES:

1) QUE LA MEZCLA ÉSTE CORRECTAMENTE DISEÑADA Y CON LA CONSISTENCIA REQUERIDA PARA LA OBRA.

2) QUE SE UTILICEN LOS EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN, TRANSPORTE Y MANEJOS ADECUADOS.

SEGREGACION Y SANGRADO

LA SEGREGACIÓN SE DEFINE COMO LA SEPARACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES DE UNA MEZCLA HETEROGÉNEA DE MODO QUE SU DISTRIBUCIÓN DEJA DE SER UNIFORME .

EXISTE DOS TIPOS DE SEGREGACIONES: EL PRIMERO ES AQUEL EN EL CUAL LAS PARTÍCULAS GRUESAS TIENDEN A SEPARARSE. EL SEGUNDO TIPO SE PRESENTA CUANDO LA LECHADA TIENDE A SEPARARSE DEL RESTO DE LA MEZCLA.

LA SEGREGACIÓN ESTÁ MUY INFLUENCIADA POR EL SISTEMA DE MANEJO Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO. UTILIZANDO UN MÉTODO CORRECTO DE MANEJO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN, LA PROBABILIDAD DE SEGREGACIÓN SE REDUCE CONSIDERABLEMENTE.

EL SANGRADO ES UNA FORMA DE SEGREGACIÓN EN LA CUAL EL AGUA DE MEZCLADO SE ELEVA A LA SUPERFICIE DEL CONCRETO RECIENTE COLOCADO, ESTO ES DEBIDO A QUE LOS MATERIALES SÓLIDOS DE LA MEZCLA NO PUEDEN RETENER TODA EL AGUA CUANDO SE ASIENTAN.

FRAGUADO

EL FRAGUADO ES EL CAMBIO QUE SE PRESENTA EN LA PASTA DE CEMENTO, CUANDO PASA DEL ESTADO PLÁSTICO AL ESTADO ENDURECIDO.

AUNQUE DURANTE EL FRAGUADO LA PASTA REQUIERE DE ALGUNA RESISTENCIA, PARA EFECTOS PRÁCTICOS ES CONVENIENTE DISTINGUIR EL FRAGUADO DEL ENDURECIMIENTO, PUES ÉSTE ÚLTIMO SE REFIERE AL AUMENTO DE RESISTENCIA DE UNA PASTA DE CEMENTO FRAGUADO.

TIEMPO DE FRAGUADO

SE EFECTÚAN PRUEBAS PARA DETERMINAR SI UNA PASTA DE CEMENTO PERMANECE EN ESTADO PLÁSTICO EL TIEMPO SUFICIENTE COMO PARA PERMITIR UN COLADO SIN DIFÍCILES OPERACIONES DE TERMINADO. EL PERÍODO EN EL CUAL LA MEZCLA

PERMANECE PLÁSTICA GENERALMENTE DEPENDE MÁS DE LA TEMPERATURA Y DEL CONTENIDO DE AGUA EN LA PASTA QUE DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO.

FALSO FRAGUADO.

ESTE FENÓMENO SE PRESENTA POCO DESPUÉS DE HABER MEZCLADO EL CONCRETO. EL FALSO FRAGUADO SE CARACTERIZA POR UNA GRAN PÉRDIDA DE PLASTICIDAD, ANTES DEL TIEMPO NORMAL DE FRAGUADO DE LA MEZCLA, SI SE MEZCLA MÁS SIN AÑADIR AGUA, LA PLASTICIDAD SE PUEDE RECUPERAR. DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL MANEJO Y DEL COLADO, LAS TENDENCIAS AL FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO NO PRODUCIRÁN DIFICULTADES DONDE SE MEZCLE EL CONCRETO UN TIEMPO MAYOR QUE EL USUAL O DONDE SE VUELVA A MEZCLAR SIN AÑADIR AGUA, ANTES DE TRANSPORTARLO O DE COLARLO.

B) CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

PUEDEN OBTENERSE CONCRETOS CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HASTA 700 Kg/cm^2 DEPENDIENDO PRINCIPALMENTE DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO Y EL GRADO DE COMPACTACIÓN. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE ENTRE 200 Y 400 Kg/cm^2 A LOS 28 DÍAS, SON LAS QUE NORMALMENTE SE OBTIENEN EN LA OBRA, SUPERVISANDO RAZONABLEMENTE BIEN; PARA MEZCLAS APROXIMADAMENTE EQUIVALENTES A 1:2:4, DE CEMENTO: ARENA: GRAVA. EN ALGUNOS TIPOS DE CONCRETO PREFABRICADO, TALES COMO DURMIENTES, SE OBTIENEN RESISTENCIAS QUE FLUCTÚAN DE 400 A 700 Kg/cm^2 A LOS 28 DÍAS CON MEZCLAS RICAS DE BAJA RELACIÓN AGUA-CEMENTO.

ADEMÁS DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO Y DEL GRADO DE COMPACTACIÓN, - HAY UN CIERTO NÚMERO DE FACTORES QUE TIENEN INFLUENCIA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, LOS MÁS IMPORTANTES SON:

- 1) TIPO DE CEMENTO Y SU CALIDAD.
- 2) TIPO Y TEXTURA DE LA SUPERFICIE DEL AGREGADO
- 3) EFICIENCIA DEL CURADO, SI EL CONCRETO SECA PREMATURAMENTE, PODRÍA TENERSE UNA PÉRDIDA DE ALREDEDOR DEL 40% DE LA RESISTENCIA, POR LO TANTO, EL CURADO ES DE CONSIDERABLE IMPORTANCIA - TANTO EN LA OBRA COMO EN LA FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE PRUEBA.
- 4) TEMPERATURA. LA VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO SE INCREMENTA AL INCREMENTAR LA TEMPERATURA. A TEMPERATURAS BAJAS (MENORES DE 5°C) EL FRAGUADO SE INHIBE, LO QUE IMPLICA UNA

RESISTENCIA BAJA DEL CONCRETO.

- 5) EDAD, BAJO CONDICIONES NORMALES, EL CONCRETO AUMENTA SU RESISTENCIA CON EL TIEMPO, ESTE INCREMENTO DEPENDE DEL TIPO DE CEMENTO. POR EJEMPLO, EL CEMENTO CON ALTO CONTENIDO DE ALÚMINA PRODUCE UN CONCRETO CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS IGUAL AL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND NORMAL A LOS 28 DÍAS, EL ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO CONTINUA POR AÑOS, PERO CON UNA PROPORCIÓN MUCHO MAS LENTA.

RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y A LA FUSION.

EL CONCRETO SE USA EN ESTRUCTURAS Y PAVIMENTOS QUE SE CONSTRUYEN PARA DURAR MUCHO TIEMPO Y A UN COSTO DE CONSERVACIÓN BAJO. UNO DE LOS REQUISITOS QUE DEBE SATISFACER EL CONCRETO ES UNA ELEVADA RESISTENCIA A LAS CONDICIONES PREVISTAS DE EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE. EL FACTOR MAS DESTRUCTIVO ES LA COMBINACIÓN DE LA CONGELACIÓN Y LA FUSIÓN DEL AGUA CUANDO EL CONCRETO ESTA MOJADO O HÚMEDO. EL DETERIORO PUEDE SER PRODUCIDO POR LA DILATACIÓN DEL AGUA DE LA PASTA O LA DILATACIÓN DE ALGUNAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO. LA INCLUSIÓN DE AIRE MEJORA LA RESISTENCIA A ESTE TIPO DE DETERIORO.

CUANDO SE CONGELA EL CONCRETO EXPUESTO A LA HUMEDAD DURANTE UN TIEMPO SUFICIENTEMENTE LARGO, LO SUFICIENTE COMO PARA SATURAR ALGUNAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO (EN PARTICULAR DEL AGREGADO GRUESO), PUEDEN GENERARSE PRESIONES HIDRÁULICAS DESTRUCTIVAS. EL AGUA DESALOJADA DE ESTAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO, DURANTE LA FORMACIÓN DE HIELO, NO PUEDE ESCAPAR CON SUFICIENTE RAPIDEZ - A TRAVÉS DE LA PASTA QUE LA RODEA, POR LO QUE SE GENERAN ESTAS PRESIONES. SIN EMBARGO, SI LA PASTA CONTIENE AIRE, ÉSTE PUEDE ALOJAR LAS PEQUEÑAS CANTIDADES

EN EXCESO DE AGUA QUE SON EXPULSADAS DEL AGREGADO, PROTEGIENDO ASÍ AL CONCRETO DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN ESTADOS ALTERNADOS DE CONGELACIÓN Y FUSIÓN DEL AGUA.

EN LA FIG. NO. I.1 SE ILUSTRAN QUE, DENTRO DEL INTERVALO DE RELACIONES AGUA-CEMENTO NORMALMENTE USADAS, EL CONCRETO CON INCLUSIÓN DE AIRE ES MUCHO MAS RESISTENTE A LOS CICLOS DE CONGELACIÓN-FUSIÓN QUE EL CONCRETO SIN AIRE. ADEMÁS, EL CONCRETO DE BAJA RELACIÓN AGUA-CEMENTO ES MÁS DURABLE QUE LOS DE ELEVADA RELACIÓN AGUA-CEMENTO. EN ESTE CASO LA "DURABILIDAD", - COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA NO. I.1 ES UNA MEDIDA QUE SE REFIERE AL NÚMERO DE CICLOS DE CONGELACIÓN Y FUSIÓN NECESARIOS PARA PRODUCIR CIERTO DAÑO EN LAS MUESTRAS. EL CONCRETO CON AIRE CON UNA BAJA RELACIÓN AGUA-CEMENTO SOPORTARÁ UN GRAN NÚMERO DE CICLOS DE CONGELACIÓN Y FUSIÓN SIN MOSTRAR DAÑO.

LA IMPERMEABILIDAD EN EL CONCRETO.

DONDEQUIERA QUE EL CONCRETO SE EXPONGA A LA INTEMPERIE, O SE EXPONGA A OTROS AGENTES DELETÉREOS, ES IMPORTANTE QUE ÉSTE SEA IMPERMEABLE.-- ÉSTE TIPO DE CONCRETO REQUIERE QUE LA PASTA SEA IMPERMEABLE. LAS PRUEBAS DE MUESTRAN QUE LA IMPERMEABILIDAD DE LA PASTA DEPENDE, PRINCIPALMENTE DE LAS CANTIDADES DE CEMENTO Y AGUA DE MEZCLA UTILIZADAS Y DE LA DURACIÓN DEL PERÍODO DE CURADO. EN LA FIG. NO. I.2 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL SOMETER DISCOS DE MORTERO A UNA PRESIÓN HIDRÁULICA DE 1.4 KG/CM² (20 PSI).

EN ESTAS PRUEBAS LOS DISCOS DE MORTERO CON CURADO HÚMEDO DE 7 DÍAS NO PRESENTARON FUGAS CUANDO LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO ERA DE 0.50. LAS FUGAS FUERON MAYORES EN LOS MORTEROS HECHOS CON RELACIONES AGUA-CEMENTO MAS GRAN-

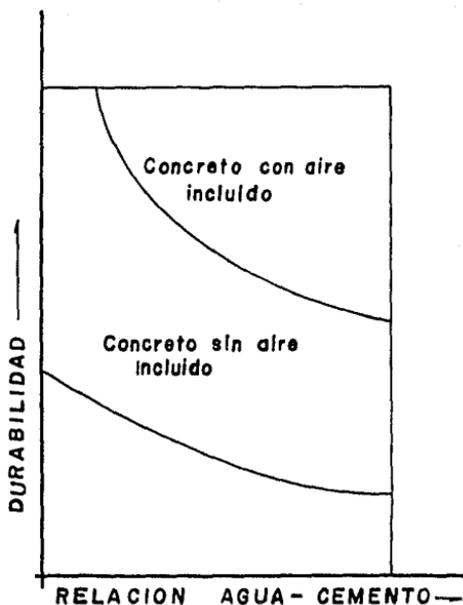


Fig. 1.1 Relaciones idealizadas entre la resistencia al congelamiento y la fusión y la relación agua-cemento para los concretos con aire y sin aire incluido. La elevada resistencia al congelamiento y la fusión es característica de los concretos con aire incluido y con baja relación agua-cemento.

Muestras: discos de mortero de 1 x 6 pulg.
 Presión: 1.4 Kg cm² (20 psi)

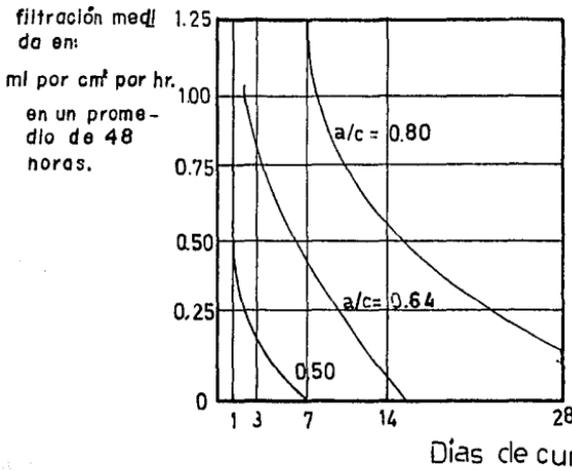


Fig. N° I.2

Efecto de la relación agua - cemento y del curado en la impermeabilidad, efectuado en discos de mortero de 1x6 pulgadas. Se nota que se reducen las filtraciones al disminuir la relación agua - cemento y al aumentar el tiempo de curado.

DES. ADEMÁS, PARA CADA RELACIÓN AGUA-CEMENTO, LAS FILTRACIONES DISMINUYERON AL AUMENTAR EL PERÍODO DE CURADO. EN LOS DISCOS HECHOS CON RELACIONES AGUA-CEMENTO DE 0,80, EL MORTERO TODAVÍA TENÍA FILTRACIONES DESPUÉS DE HABER SIDO CURADO UN MES.

LA INCLUSIÓN DE AIRE MEJORA LA IMPERMEABILIDAD AL AUMENTAR LA DENSIDAD QUE SE OBTIENE AL MEJORAR LA MANEJABILIDAD Y REDUCIR LA SEGREGACIÓN Y EL SANGRADO. DEBIDO A QUE DISMINUYE LA CANTIDAD TOTAL DE AGUA NECESARIA EN EL CONCRETO CON AIRE, LA PASTA TENDRÁ UNA MENOR RELACIÓN AGUA-CEMENTO Y POR LO TANTO, SERÁ MÁS IMPERMEABLE.

PARA SER IMPERMEABLE, EL CONCRETO NO DEBE TENER RAJADURAS NI AGUJEROS. EN GENERAL, EL CONCRETO NO ES IMPERMEABLE, A MENOS QUE SE MODIFIQUE ESTA PROPIEDAD CON UN ADITIVO.

CAPITULO II

COMPONENTES DEL CONCRETO

INTRODUCCION

EL CONCRETO ES UN MATERIAL PÉTREO, ARTIFICIAL, OBTENIDO DE LA MEZCLA, EN PROPORCIONES DETERMINADAS, DE CEMENTO, AGREGADOS Y AGUA. LOS AGREGADOS SON RODEADOS POR UNA PASTA QUE HACE EL CEMENTO CON EL AGUA, FORMANDO ASÍ UN MATERIAL HETEROGÉNEO. ÁLGUNAS VECES SE AÑADEN CIERTAS SUBSTANCIAS, LLAMADAS ADITIVOS, QUE MEJORAN O MODIFICAN ALGUNAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.

PARA COMPRENDER MEJOR LO ANTERIOR, ES NECESARIO CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS COMPONENTES Y COMO AFECTAN AL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO.

A) AGREGADOS

DEBIDO A QUE LA MAYOR PARTE DEL CONCRETO LO CONSTITUYEN LOS AGREGADOS, SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS TIENEN GRAN INFLUENCIA EN LAS CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO, TANTO EN SU ESTADO PLÁSTICO COMO EN SU ESTADO ENDURECIDO.

A.1) CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS

LOS PODEMOS CLASIFICAR DE ACUERDO CON LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

— POR SU ORIGEN.

LOS TRES PRINCIPALES GRUPOS EN QUE SE DIVIDEN LAS ROCAS DE

ACUERDO A SU ORIGEN, SON LOS SIGUIENTES: ÍGNEAS, SEDIMENTARIAS Y METAMÓRFICAS.

LA COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y EL ORIGEN DE LOS AGREGADOS SON - IMPORTANTES, SOBRE TODO PARA LA DEFINICIÓN DE POSIBLES REACCIONES NOCIVAS CON LOS COMPONENTES ALCALINOS DEL CEMENTO.

- POR SU PESO

ES MUY ÚTIL ESTA FORMA DE CLASIFICAR A LOS AGREGADOS, PRINCIPALMENTE PARA CONOCER EL PESO DE LAS ESTRUCTURAS. LOS AGREGADOS - LOS PODEMOS DIVIDIR EN TRES GRUPOS: LIGEROS, NORMALES Y PESADOS.

- POR SU TAMAÑO

EL AGREGADO SE CLASIFICA EN GRUESO Y FINO, LLAMANDO AL PRIMERO GRAVA Y AL SEGUNDO ARENA. SE HA ESTABLECIDO COMO NORMA QUE EL - LÍMITE ENTRE GRAVAS Y ARENAS, EN CUANTO A TAMAÑO DE PARTÍCULAS, SEA LA MALLA No. 4. EL AGREGADO GRUESO ES TODO AQUEL MATERIAL - QUE ES RETENIDO POR ESTA MALLA, HASTA EL TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA QUE SE HAYA ESCOGIDO PARA EL CONCRETO. POR OTRO LADO, EL - AGREGADO FINO SE COMPONE POR TODO EL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 4

- POR SU FORMA Y TEXTURA.

LOS EFECTOS QUE LAS CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DE LOS AGREGADOS - DAN AL CONCRETO SON MUY IMPORTANTES, SOBRE TODO EN CUANTO A SU TRABAJABILIDAD Y A SU COMPACTACIÓN.

POR SU FORMA, PODEMOS CLASIFICAR A LAS PARTÍCULAS EN: REDONDEADAS, IRREGULARES, ESCAMOSAS Y ANGULARES. LAS REDONDEADAS SE ENCUENTRAN TOTALMENTE DESGASTADAS POR EL AGUA O COMPLETAMENTE LIMADAS POR FROTAMIENTO, COMO LA GRAVA DE RIO Y LA ARENA DEL DESIERTO; LAS IRREGULARES ESTÁN PARCIALMENTE LIMADAS POR FROTAMIENTO Y CON ORILLAS REDONDEADAS, COMO ALGUNAS GRAVAS Y PEDERNALES; LAS ESCAMOSAS SON AQUELLAS EN QUE EL ESPESOR ES PEQUEÑO EN RELACION A LAS OTRAS DOS DIMENSIONES, COMO POR EJEMPLO LA GRAVA LAMINADA; LAS PARTÍCULAS ANGULADAS POSEEN ORILLAS BIEN DEFINIDAS QUE SE FORMAN EN LA INTERSECCIÓN DE CARAS MAS O MENOS PLANAS, COMO LAS QUE RESULTAN DE LAS ROCAS TRITURADAS.

LA CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO POR SU TEXTURA SUPERFICIAL SE BASA EN EL GRADO EN QUE LA SUPERFICIE ES SUAVE O ÁSPERA. LA TEXTURA DEPENDE DE LA DUREZA, DEL TAMAÑO DEL GRANO Y DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA ORIGINAL, ASÍ COMO TAMBIÉN EL GRADO EN QUE LAS FUERZAS EXTERNAS ACTÚAN SOBRE LA SUPERFICIE MODIFICANDO SUS CARACTERÍSTICAS.

ÉN REALIDAD, NO SE SABE QUE PAPEL DESEMPEÑAN LA FORMA Y LA TEXTURA DEL AGREGADO EN EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO, PERO ES DE SUPONER QUE LA TEXTURA ÁSPERA PRODUCE UNA MAYOR FUERZA DE ADHESIÓN ENTRE LAS PARTÍCULAS Y LA PASTA DE CEMENTO. DE IGUAL MANERA, LA MAYOR SUPERFICIE DE UN AGREGADO ANGULAR PUEDE PRODUCIR UN AUMENTO EN LA FUERZA DE ADHESIÓN.

A.2) PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

- ABSORCIÓN Y HUMEDAD SUPERFICIAL.

LA ABSORCIÓN Y LA HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS DEBEN DETERMINARSE PARA QUE LA PROPORCIÓN DE AGUA EN EL CONCRETO PUEDA CONTROLARSE Y SE PUEDAN DETERMINAR LOS PESOS CORRECTOS DE LAS MEZCLAS. LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS PARTÍCULAS DE UN AGREGADO ESTÁN FORMADAS POR MATERIAS SÓLIDAS Y HUECOS QUE PUEDEN CONTENER AGUA O NO.

LOS PESOS DE LOS MATERIALES DE LAS MEZCLAS DEBEN AJUSTARSE POR LAS CONDICIONES DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS, PARA QUE NO OCURAN GRANDES VARIACIONES EN LAS CANTIDADES DE MEZCLA.

- PESO ESPECÍFICO.

EL PESO ESPECÍFICO DE UNA PARTÍCULA SE DEFINE COMO LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL PESO DE SU MASA Y EL VOLUMEN QUE OCUPA EN EL ESPACIO. EL PESO ESPECÍFICO DA UNA BUENA IDEA DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS, EL CUAL, A SU VEZ, LOS PUEDE CALIFICAR DE AGREGADOS LIGEROS O PESADOS Y DAN UN INDICIO SOBRE LA RESISTENCIA POTENCIAL.

- GRANULOMETRÍA.

ES MUY IMPORTANTE EL PAPEL QUE JUEGA LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO. SU VARIACIÓN

ALTERA UNA SERIE DE FACTORES, COMO SON LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO, LA DEMANDA DE AGUA Y CEMENTO, EL ACABADO, LA SEGREGACION Y EL SANGRADO. LO ANTERIOR IMPLICA HACER UN DISEÑO ADECUADO DEL CONCRETO, TOMANDO EN CUENTA LOS EFECTOS QUE PRODUCE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.

- RESISTENCIA AL DESGASTE.

LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE UN AGREGADO SE USA CON FRECUENCIA COMO INDICADOR GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGREGADO. ESTA CARACTERÍSTICA ES ESCENCIAL CUANDO EL AGREGADO SE VA A USAR EN CONCRETO SUJETO A DESGASTE COMO EN LOS PISOS PARA SERVICIO PESADO.

- SANIDAD

SE LE DÁ ESTE NOMBRE A LA CAPACIDAD DEL AGREGADO PARA RESISTIR CAMBIOS EXCESIVOS EN VOLUMEN COMO CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS EN LAS CONDICIONES FÍSICAS.

LAS CAUSAS FÍSICAS QUE GENERAN ESTOS CAMBIOS SON:

LOS CAMBIOS TÉRMICOS.

LOS ESTADOS HÚMEDOS Y SECOS SUCESIVOS .

EL CONGELAMIENTO Y DESHIELO .

B) CEMENTO

EL CEMENTO ES EL MATERIAL AGLUTINANTE DEL CONCRETO Y COMO TAL, INFLUYE EN LAS CARACTERÍSTICAS DE ÉSTE.

LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL CEMENTO SON: CAL, SÍLICE, ALÚMINA Y ÓXIDO DE HIERRO. ÉSTOS COMPONENTES RARAMENTE SE ENCUENTRAN EN LAS PROPORCIONES DESEADAS, EN UNA SOLA SUBSTANCIA, POR LO QUE SIEMPRE SE BUSCA UNA COMBINACIÓN ADECUADA DE MATERIALES CALCÁREOS Y ARCILLOSOS.

AL COMBINARSE EL CEMENTO CON EL AGUA, SE PRODUCE LA REACCIÓN QUE CONOCIDA COMO HIDRATACIÓN. ESTA REACCIÓN HACE FRAGUAR A LA PASTA PARA POSTERIORMENTE COMENZAR A ENDURECER, HASTA FORMAR UN MATERIAL PARECIDO AL DE LA PIEDRA.

DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO, EL CEMENTO ES EL MAS CARO, DEBIDO A QUE ES UN PRODUCTO MANUFACTURADO QUE SIGUE PROCESOS BIEN DEFINIDOS Y CONTROLADOS PARA SU FABRICACIÓN.

B.1) TIPOS DE CEMENTO

LOS DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO SE HAN FABRICADO Y MODIFICADO DE ACUERDO CON LA INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO Y EXPERIENCIA DE LA MISMA, CON OBJETO DE PRODUCIR DIVERSOS TIPO DE CEMENTANTES HIDRÁULICOS, QUE SATISFAGAN LAS NECESIDADES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO PARA LOS DISTINTOS FINES A QUE SE DESTINAN LAS OBRAS Y EN LAS CONDICIONES EN QUE LAS ESTRUCTURAS VAYAN A TRABAJAR.

EL CONSTRUCTOR HA IDO REQUIRIENDO CEMENTOS QUE PROPORCIONEN MAYOR RESISTENCIA TANTO MECÁNICA COMO QUÍMICA, PARA LO CUAL SE HA TENIDO QUE VARIAR ADECUADAMENTE SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA.

UN EJEMPLO DE ELLO SE TIENE QUE POR EL AÑO DE 1910, EL CONTENIDO DE SILICATO TRICÁLCICO ERA DEL ORDEN DE 30% Y HOY DÍA PARA EL TIPO I, ES DE 45 A 55%. ADEMÁS DEL CAMBIO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA, SE HA DADO GRAN ATENCIÓN AL GRADO DE FINURA PARA PROPORCIONAR ALTA RESISTENCIA A EDADES TEMPRANAS.

CEMENTOS PORTLAND

EN MÉXICO SE FABRICAN DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO PORTLAND, LOS CUALES SE ENCUENTRAN NORMALIZADOS BAJO LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM C1-1975*, CLASIFICACIÓN SEMEJANTE A LA QUE PRESENTA LA A.S.T.M. EN SU NORMA C150-1977. LA RECOMENDACIÓN COPANT R180-1969 (COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS), TAMBIÉN LOS INCLUYE.

ESTOS TIPOS DE CEMENTO CON CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS, TIENEN DEFINIDAS SUS PROPIEDADES Y ESTABLECIDOS SUS RESPECTIVOS EMPLEOS.

TIPO I, NORMAL.

ESTE TIPO ES PARA USO GENERAL. ES EL ADECUADO PARA TODOS LOS USOS EN QUE NO SE REQUIERAN LAS PROPIEDADES ESPECIALES DE LOS OTROS TIPOS. SE USA DONDE EL CEMENTO O EL CONCRETO NO ESTÁ SUJETO AL ATAQUE DE FACTORES ESPECÍFICOS, COMO A LOS SULFATOS DEL SUELO O DEL AGUA, O A ELEVACIONES PERJUDICIALES

* VER ANEXOS.

DE TEMPERATURA, DEBIDO AL CALOR GENERADO EN LA HIDRATACIÓN. ENTRE SUS USOS SE INCLUYEN PAVIMENTOS Y ACERAS, EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO, PUENTES, ESTRUCTURAS PARA FERROCARRILES, TANQUES Y DEPÓSITOS, ALCANTARILLAS, TUBERÍAS PARA AGUA, ETC.

TIPO II, BAJA RESISTENCIA A LOS SULFATOS.

EL CEMENTO TIPO II SE USA CUANDO SEA NECESARIAS PRECAUCIONES CONTRA EL ATAQUE MODERADO POR LOS SULFATOS, COMO EN LAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE, DONDE LAS CONCENTRACIONES DE SULFATO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SEAN ALGO MÁS ELEVADAS QUE LO NORMAL, PERO NORMALMENTE NO MUY GRAVES. EL TIPO II GENERA USUALMENTE MENOS CALOR, MÁS DESPACIO QUE EL CEMENTO DEL TIPO I O NORMAL. SI SE ESPECIFICA EL CALOR MÁXIMO DE HIDRATACIÓN PARA EL CEMENTO, PUEDE USARSE EL TIPO II EN LAS ESTRUCTURAS DE GRAN MASA, COMO EN LAS GRANDES PILAS Y EN LOS MUROS DE CONTENCIÓN GRUESOS, CON SU USO SE DISMINUYE LA ELEVACIÓN DE TEMPERATURA, LO QUE ES ESPECIALMENTE IMPORTANTE CUANDO EL CONCRETO SE CUELA EN CLIMAS CÁLIDOS.

TIPO III, ALTA RESISTENCIA RÁPIDA.

ESTE TIPO DE CEMENTO PERMITE OBTENER CON RAPIDEZ ELEVADAS RESISTENCIAS, USUALMENTE EN UNA SEMANA O MENOS. SE USA CUANDO SE TIENEN QUE RETIRAR LOS MOLDES LO MÁS PRONTO QUE SEA POSIBLE, O CUANDO LA ESTRUCTURA SE DEBE PONER EN SERVICIO RÁPIDAMENTE. EN TIEMPO FRÍO, SU USO PERMITE REDUCIR EL PERÍODO DE CURADO CONTROLADO. AUNQUE PUEDEN OBTENERSE RÁPIDAMENTE RESISTENCIAS EQUIVALENTES EMPLEANDO MEZCLAS MAS RICAS CON CEMENTO TIPO I O NORMAL, EL TIPO III O DE ALTA RESISTENCIA RÁPIDA PUEDE PROPORCIONAR EL ENDURECIMIENT

TO RÁPIDO, MEJOR Y MÁS ECONÓMICAMENTE.

TIPO IV, BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN.

EL CEMENTO DEL TIPO IV ES PARA USARSE DONDE EL GRADO Y LA CANTIDAD DE CALOR GENERADO SE DEBE REDUCIR AL MÍNIMO, EL CEMENTO DEL TIPO IV ADQUIERE RESISTENCIA MÁS DESPACIO QUE EL CEMENTO DEL TIPO I O NORMAL. SUS PROPIEDADES SON LAS NECESARIAS PARA USARSE EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO DE GRAN MASA, COMO LAS GRANDES PRESAS DE GRAVEDAD, DONDE LA ELEVACIÓN PRODUCIDA EN LA TEMPERATURA POR EL CALOR GENERADO DURANTE EL ENDURECIMIENTO ES UN FACTOR CRÍTICO.

TIPO V, RESISTENTE A LOS SULFATOS

ESTE TIPO DE CEMENTO SE USA SOLAMENTE EN CONCRETO SUJETO AL EFECTO INTENSO DE LOS SULFATOS. SE USA PRINCIPALMENTE DONDE LOS SUELOS O EL AGUA SUBTERRÁNEA TENGA UNA CONCENTRACIÓN ELEVADA DE SULFATOS. SU RESISTENCIA AUMENTA MÁS LENTAMENTE QUE EN EL CEMENTO TIPO I O NORMAL.

EN LA FIG. NO. II.1 SE MUESTRA EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, EN CONCRETOS CON RELACIÓN A/C = 0,50, ELABORADOS CON LOS TIPOS DE CEMENTO ANTES DESCRITOS.

B.2) PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

LA MAYOR PARTE DE LAS ESPECIFICACIONES PARA CEMENTO PORTLAND LIMITAN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO. EL CONOCIMIENTO DEL SIGNIFICADO DE ALGUNAS DE ESTAS PROPIEDADES ES PROVECHOSO PARA INTERPRETAR LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL CEMENTO.

Kg/cm²

Nw/mm²

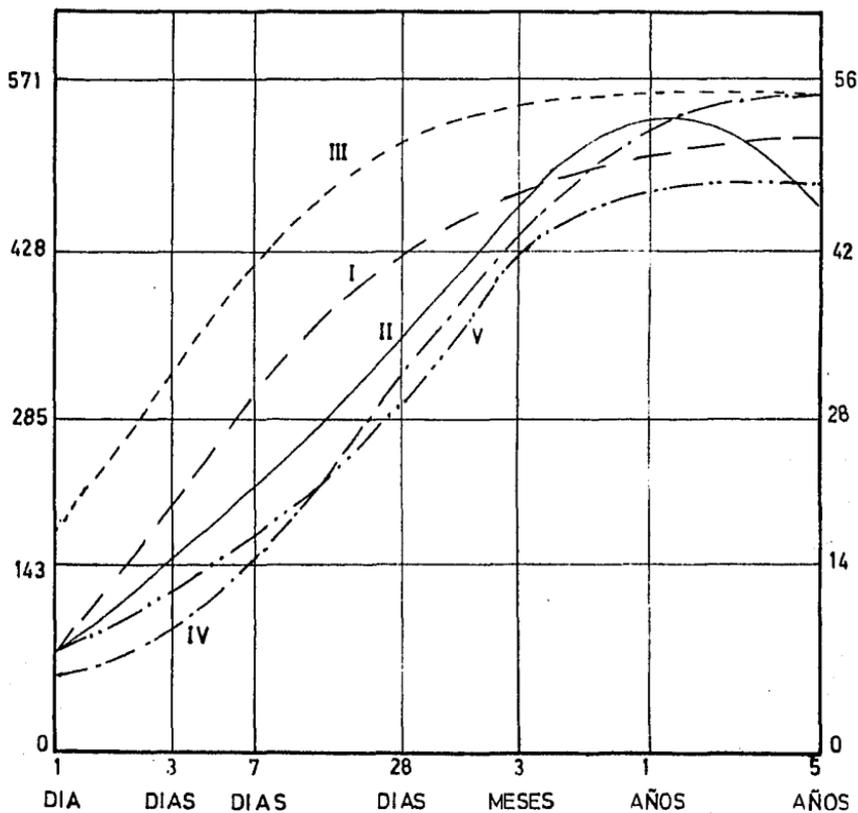


Fig. II.1 Desarrollo de resistencia de concretos con una relación agua/cemento de 0.50, elaborados con cementos de diferente tipo.

FINURA

LA FINURA DE LA MOLIENDA DEL CEMENTO AFECTA LA RAPIDEZ DE LA HIDRATACIÓN. AL AUMENTAR LA FINURA DEL CEMENTO AUMENTA LA RAPIDEZ A LA QUE SE HIDRATA, ACELERANDO LA ADQUISICIÓN DE RESISTENCIA, LOS EFECTOS DEL AUMENTO DE FINURA EN LA RESISTENCIA SE MANIFIESTA PRINCIPALMENTE DURANTE LOS PRIMEROS 7 DÍAS. AL AUMENTAR LA FINURA, EL AGUA NECESARIA PARA OBTENER UN CONCRETO CON UN CIERTO REVENIMIENTO DISMINUYE HASTA ALCANZAR LOS ELEVADOS GRADOS DE FINURA DEL CEMENTO TIPO III O DE ALTA RESISTENCIA RÁPIDA.

CALOR DE HIDRATACIÓN

EL CALOR DE HIDRATACIÓN ES EL GENERADO CUANDO REACCIONAN EL CEMENTO Y EL AGUA. LA CANTIDAD DE CALOR GENERADO DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO, LA FINURA Y LA TEMPERATURA DE CURADO. EN ALGUNAS ESTRUCTURAS, COMO AQUELLAS DE GRAN MASA, LA RAPIDEZ Y LA CANTIDAD DE CALOR GENERADO SON IMPORTANTES. SI NO SE DISIPA ESTE CALOR RÁPIDAMENTE, PUEDE OCURRIR UNA IMPORTANTE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO. EN LAS ESTRUCTURAS DE GRAN MASA, DE CONCRETO, PUEDE RESULTAR INCONVENIENTE UNA ELEVACIÓN DE TEMPERATURA, PORQUE PUEDE ESTAR ACOMPAÑADA DE DILATACIÓN TÉRMICA. EL ENFRIAMIENTO POSTERIOR DEL CONCRETO ENDURECIDO PUEDE CREAR ESFUERZOS PERJUDICIALES. POR OTRA PARTE, LA ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO PRODUCIDA POR EL CALOR DE HIDRATACIÓN ES CON FRECUENCIA BENÉFICA EN TIEMPO FRÍO, YA QUE AYUDA A MANTENER TEMPERATURAS DE CURADO FAVORABLES. LAS CANTIDADES APROXIMADAS DE CALOR GENERADO DURANTE LOS PRIMEROS SIETE DÍAS, TOMANDO COMO BASE QUE EL DEL CEMENTO TIPO I O NORMAL, SE CONSIDERA DE UN 100%, SE

SEÑALAN EN LA TABLA N^o. II.1.

EN LA FIG. N^o. II.2 SE MUESTRA QUE EL AUMENTO DE TEMPERATURA EN CONCRETO CURADO, CUANDO NO HAY PÉRDIDAS DE CALOR, ES MAYOR DURANTE LOS PRIMEROS DÍAS DEL ENDURECIMIENTO Y GRADUALMENTE ES MENOR AL AUMENTAR LA EDAD DEL CONCRETO.

C) AGUA

CASI CUALQUIER AGUA NATURAL QUE PUEDA BEBERSE Y QUE NO TENGA SABOR U OLORES NOTABLES SIRVE PARA MEZCLAR EL CONCRETO. SIN EMBARGO, EL AGUA QUE SIRVE PARA MEZCLAR CONCRETO PUEDE NO SERVIR PARA BEBER.

LA CALIDAD DEL AGUA TIENE GRAN IMPORTANCIA PARA EL CONCRETO, PUES SI ÉSTA CONTIENE CIERTAS IMPUREZAS, PUEDEN INTERFERIR CON EL FRAGUADO DEL CONCRETO, AFECTANDO LA RESISTENCIA DEL MISMO O CAUSANDO MANCHAS EN SU SUPERFICIE Y PROVOCAR, ADEMÁS, LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

POR ESTAS RAZONES, ES INDISPENSABLE CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DISPONIBLE PARA CADA OBRA. EN LUGARES DONDE YA SE TIENE AMPLIA EXPERIENCIA Y SE HA COMPROBADO LA CALIDAD DEL AGUA, SE PUEDEN SUPRIMIR LOS ESTUDIOS PRELIMINARES, PERO EN SITIOS NO CONOCIDOS, O CUANDO SE TIENE ALGUNA DUDA, ES INDISPENSABLE REALIZAR LOS ANÁLISIS CORRESPONDIENTES.

EXISTEN ESPECIFICACIONES QUE NOS DETERMINAN LOS CONTENIDOS LÍMITES DE SALES E IMPUREZAS QUE PUEDE CONTENER EL AGUA. SI AL REALIZAR LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA SE VE QUE EXISTE PELIGRO, SE DEBEN REALIZAR INVESTIGACIONES MÁS COMPLETAS, GENERALMENTE, MEDIANTE LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS DE

Tabla N° II.1

Porcentaje de calor generado durante los primeros 7 días respecto al cemento tipo I.

TIPO DE CEMENTO	PORCENTAJE
I	100
II	80 - 85
III	150
IV	40 - 60
V	60 - 75

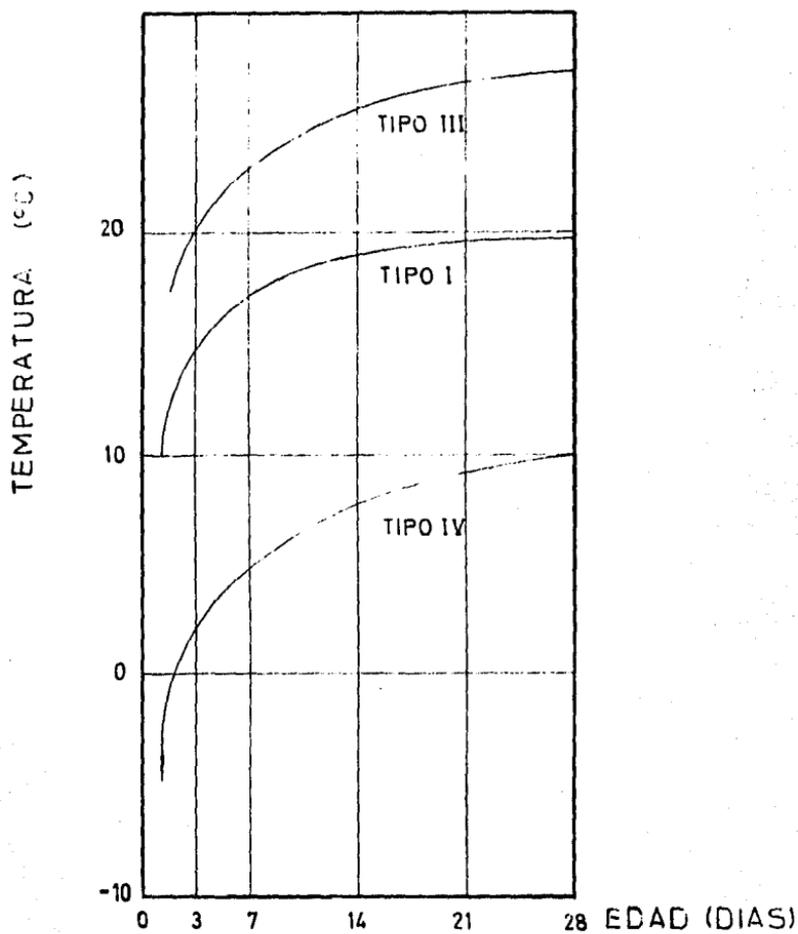


Fig. II. 2

Elevación de temperatura en concreto curado, utilizando diferentes tipos de cemento.

PRUEBA Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE LABORATORIO, PARA DETERMINAR LOS EFECTOS REALES QUE PROVOCA EL AGUA EN EL CONCRETO.

EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD QUE SE SIGUE PARA UNA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA UNA OBRA, DEPENDE DE LAS PROBABILIDADES DE VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE SUBSTANCIAS Y SU PROXIMIDAD A LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LO QUE, UN AGUA DE CALIDAD CERCANA A LA FRONTERA DE ACEPTACIÓN, DEBE SER ANALIZADA Y VIGILADA MAS FRECUENTEMENTE.

EN SEGUIDA, SE SEÑALAN ALGUNOS LÍMITES MÁXIMOS DE ACEPTACIÓN QUE SE RECOMIENDAN PARA EL CONTROL DE VARIACIÓN DE SALES E IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLADO, ASÍ COMO SUS PRINCIPALES EFECTOS EN EL CONCRETO:

CARBONATOS Y BICARBONATOS.

LOS CARBONATOS Y BICARBONATOS, ESPECIALMENTE LOS DE SODIO Y POTASIO PRODUCEN UN FRAGUADO MUY RÁPIDO; EN GRANDES CONCENTRACIONES ESTOS ELEMENTOS REDUCEN MATERIALMENTE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO. CUANDO LA SUMA DE ESTAS SALES DISUELTAS EXCEDE DE 1,000 P.P.M. (DEL 0.1%) DEBERÁN HACERSE PRUEBAS PARA EL TIEMPO DE FRAGUADO Y DE RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS.

CLORURO Y SULFATO DE SODIO.

GENERALMENTE LA ELEVADA PROPORCIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS DE UN AGUA NATURAL SE DEBE A UN ALTO CONTENIDO DE CLORURO O SULFATO DE SODIO. AMBOS PUEDEN TOLERARSE EN RELATIVAMENTE GRANDES CANTIDADES. EL AGUA CON CONTENIDO DE HASTA 500 P.P.M. DE ESTOS ELEMENTOS SE HA USADO, CON RESULTADOS SATISFACTORIOS, PARA HACER CONCRETO.

LIMO O PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN.

PUEDEN TOLERARSE HASTA 2,000 P.P.M. DE PARTÍCULAS FINAS DE LIMO, ARCILLA, O DE ROCA EN EL AGUA DE MEZCLA. CANTIDADES MAYORES EMPIEZAN A REDUCIR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO. EL AGUA CON LODO DEBERÁ DEJARSE ASENTAR EN TANQUES DE DECANTACIÓN ANTES DE USARLO, PARA REDUCIR LA CANTIDAD DE LIMO Y ARCILLA QUE SE AÑADA A LA MEZCLA.

ALGAS

LAS ALGAS, CUANDO ESTÁN PRESENTES EN EL AGUA DE MEZCLA, PUEDEN - ORIGINAR UNA REDUCCIÓN EXCESIVA DE LA RESISTENCIA, YA SEA COMBINÁNDOSE CON EL CEMENTO PARA REDUCIR LA ADHERENCIA O INTRODUCIENDO UNA GRAN CANTIDAD DE AIRE EN EL CONCRETO. LAS ALGAS PUEDEN TAMBIÉN ESTAR PRESENTES EN LOS AGREGADOS, EN CUYO CASO LA ADHERENCIA ENTRE EL AGREGADO Y LA PASTA DE CEMENTO SE REDUCE.

CAPITULO III

COMPONENTES DEL CEMENTO

INTRODUCCION

EN EL SENTIDO GENERAL DE LA PALABRA, EL CEMENTO PUEDE DESCRIBIRSE COMO UN MATERIAL ADHESIVO, CUYA PROPIEDAD LE DÁ LA CAPACIDAD DE AGLUTINAR FRAGMENTOS MINERALES PARA FORMAR UN TODO COMPACTO.

LOS CEMENTOS QUE SE UTILIZAN EN LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO TIENEN LA PROPIEDAD DE FRAGUAR Y ENDURECER CON EL AGUA, EN VIRTUD DE QUE EXPERIMENTAN UNA REACCIÓN QUÍMICA CON ELLA Y, POR LO TANTO, SE DENOMINAN CEMENTOS HIDRÁULICOS.

LOS CEMENTOS HIDRÁULICOS ESTÁN COMPUESTOS PRINCIPALMENTE DE MATERIALES CALCÁREOS, TALES COMO CALIZA, Y POR ALÚMINA Y SÍLICE, QUE SE ENCUENTRAN COMO ARCILLA O PIZARRA. TAMBIÉN SE UTILIZA LA MARGA, QUE ES UNA MEZCLA DE MATERIALES CALCÁREOS Y ARCILLOSOS.

A) FABRICACION DEL CEMENTO

EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO CONSISTE EN MOLER FINAMENTE LA MATERIA PRIMA, MEZCLARLA MINUCIOSAMENTE EN CIERTAS PROPORCIONES Y CALCINARLA EN UN HORNO ROTATORIO DE GRAN DIMENSIÓN A UNA TEMPERATURA DE APROXIMADAMENTE $1,400^{\circ}\text{C}$, DONDE EL MATERIAL SE SINTETIZA Y SE FUNDE, FORMANDO BOLAS CONOCIDAS COMO CLINKER. EL CLINKER SE ENFRÍA Y TRITURA HASTA OBTENER UN POLVO FINO, DESPUÉS SE ADICIONA UN POCO DE YESO Y EL PRODUCTO RESULTANTE ES EL CEMENTO.

A CONTINUACIÓN SE DESCRIBIRÁN ALGUNOS DETALLES DE LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO, QUE SE COMPRENDERÁN MEJOR SIGUIENDO LOS DIAGRAMAS DE PROCESO REPRESENTADOS EN LAS FIGURAS N^{OS}. III.1.A Y III.1.B.

LA MEZCLA Y TRITURACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS PUEDE EFECTUARSE TANTO EN CONDICIONES HÚMEDAS COMO SECAS; DE AQUÍ PROVIENEN LOS NOMBRES DE PROCESO "HÚMEDO" O PROCESO "SECO".

CONSIDEREMOS INICIALMENTE EL PROCESO HÚMEDO. CUANDO SE EMPLEA MARGA SE TRITURA FINAMENTE Y SE DISPERSA EN AGUA EN UN MOLINO DE LAVADO, EL CUAL ES UN POZO CIRCULAR CON BRAZOS REVOLVEDORES RADIALES CON RASTRILLOS, LOS CUALES ROMPEN LOS AGLOMERADOS DE MATERIAS SÓLIDAS. LA ARCILLA TAMBIÉN SE TRITURA Y SE MEZCLA CON AGUA, EN UN MOLINO DE LAVADO SEMEJANTE AL ANTERIOR. EN SEGUIDA SE BOMBAN LAS DOS MEZCLAS DE TAL FORMA QUE SE MEZCLAN EN PROPORCIONES DETERMINADAS Y PASAN A TRAVÉS DE UNA SERIE DE CRIBAS. LA LECHADA QUE RESULTA DE ESTE PROCESO FLUYE A TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

SI SE EMPLEA CALIZA, DEBE BARRENARSE, TRITURARSE Y LUEGO DEPOSITARSE EN UN MOLINO DE BOLAS, CON LA ARCILLA DISPERSA EN AGUA. ALLÍ SE CONTINÚA EL MOLIDO DE LA CALIZA (HASTA LOGRAR LA FINURA DE LA HARINA) Y LA LECHADA RESULTANTE SE BOMBEA A TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

LA LECHADA ES UN LÍQUIDO DE CONSISTENCIA CREMOSA, CON UN CONTENIDO DE AGUA DE ENTRE UN 35 Y UN 50%. GENERALMENTE HAY VARIOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN LOS CUALES SE GUARDA LA LECHADA; LA SEDIMENTACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS SE IMPIDE MEDIANTE AGITACIÓN MECÁNICA O POR BURBUJEO DE AIRE COM PRIMIDO.

Proceso humedo.

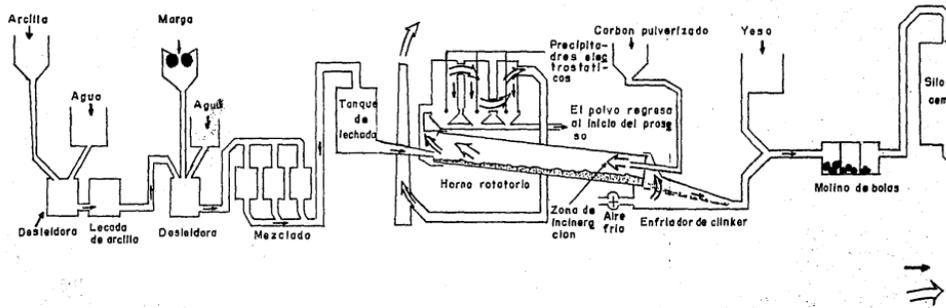


FIG. III. I A

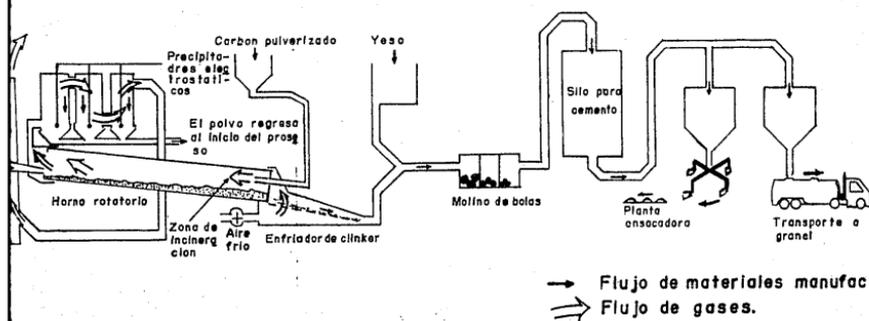


FIG. III. I A

Proceso seco.

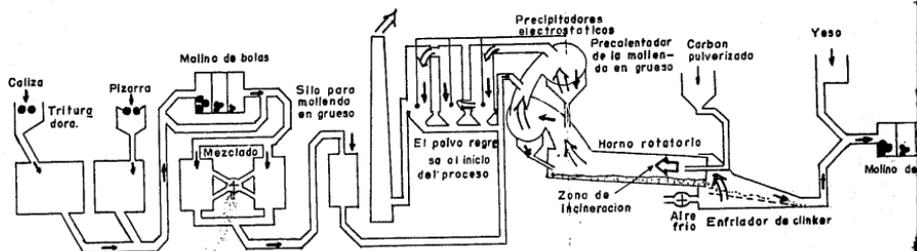


FIG. III. I B

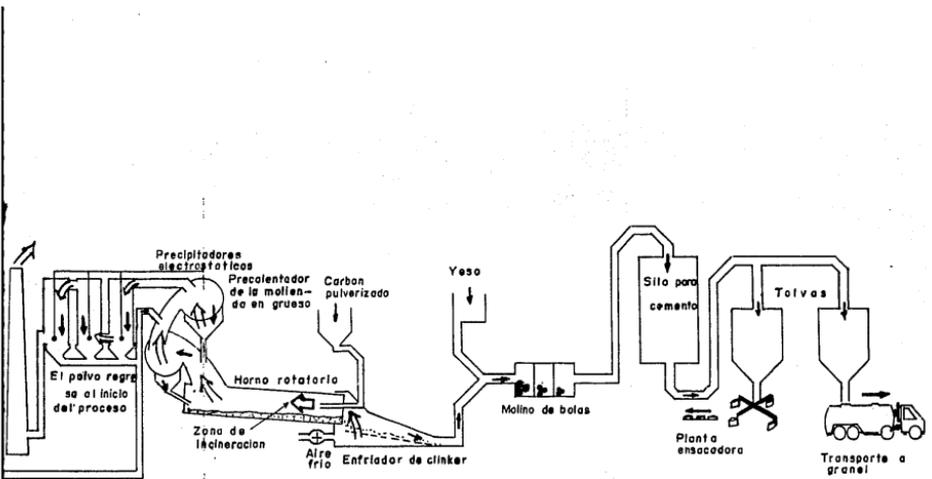


FIG. III. I B

— Flujo de materiales manufacturados

⇒ Flujo de gases

LA LECHADA, CON LAS PROPORCIONES ADECUADAS DE CAL, SÍLICE, ALÚMINA Y COMPONENTES DE HIERRO, PASA A UN HORNO ROTATORIO. SE TRATA DE UN CILINDRO DE ACERO DE GRAN TAMAÑO, RECUBIERTO DE MATERIAL REFRACTARIO, CON DIÁMETRO INTERIOR DE HASTA 7,5 M, Y UNA LONGITUD QUE A VECES ALCANZA 230 M, EL CUAL GIRA LENTAMENTE ALREDEDOR DE SU EJE, LEVEMENTE INCLINADO CON RESPECTO A LA HORIZONTAL. LA LECHADA SE DEPOSITA EN EL EXTREMO SUPERIOR DEL HORNO, - MIENTRAS QUE EN EL EXTREMO INFERIOR SE INYECTA EL COMBUSTIBLE POR QUEMAR, PU DIENDO SER CARBÓN PULVERIZADO, GASOLINA O GAS, DONDE LA TEMPERATURA ALCANZA DE 1,400 A 1,500°C.

CUANDO LA LECHADA DESCENDE DENTRO DEL HORNO, ENCUENTRA PROGRESI VAMENTE MAYORES TEMPERATURAS, PRIMERO SE ELIMINA EL AGUA Y SE LIBERA EL CO₂, POSTERIORMENTE, EL MATERIAL SECO SUFRE UNA SERIE DE REACIONES QUÍMICAS QUE PRODUCEN BOLAS DE DIÁMETROS QUE VARÍAN ENTRE 3 Y 25 MM, CONOCIDAS COMO CLIN KER.

EL CLINKER SE ENFRÍA Y POSTERIORMENTE SE PULVERIZA EN UN MOLINO DE BOLAS DE ACERO. DURANTE ESTA OPERACIÓN SE AÑADE UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE YESO PARA REGULAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO. EL PRODUCTO PULVERIZA DO ES EL CEMENTO PORTLAND TERMINADO. SE MUELE TAN FINO QUE ALCANZA A TENER HASTA 1.1×10^{12} PARTÍCULAS POR KILOGRAMO, ESTANDO EN CONDICIONES PARA EMPA CARSE EN LOS CONOCIDOS SACOS DE PAPEL, EN TAMBORES O PARA TRANSPORTE A GRA NÉL.

EN EL PROCESO SECO, LAS MATERIAS PRIMAS SE TRITURAN Y SE ADICIO NAN EN LAS PROPORCIONES CORRECTAS EN UN MOLINO DE MEZCLADO, DONDE SE SECAN

Y SE REDUCE SU TAMAÑO A UN POLVO FINO. EL POLVO SECO, LLAMADO GRANO MOLIDO CRUDO, SE BOMBEA AL SILO DE MEZCLADO Y SE HACE UN AJUSTE FINAL EN LAS PROPORCIONES DE LOS MATERIALES REQUERIDOS PARA LA MANUFACTURA DEL CEMENTO. PARA OBTENER UNA MEZCLA ÍNTIMA Y UNIFORME, SE MEZCLA EL GRANO CRUDO MEDIANTE AIRE COMPRIMIDO, INDUCIENDO UN MOVIMIENTO ASCENDENTE DEL POLVO Y REDUCIENDO SU DENSIDAD APARENTE. EL AIRE SE BOMBEA POR TURNOS SOBRE CADA CUADRANTE DEL SILO Y ESTO PERMITE AL MATERIAL APARENTEMENTE MÁS PESADO DE LOS CUADRANTES NO AIREADOS, MOVERSE LATERALMENTE HACIA EL CUADRANTE AIREADO. DE ESTE MODO, EL MATERIAL AIREADO TIENDE A COMPORTARSE COMO UN LÍQUIDO Y, SI SE AIREAN A SU VEZ TODOS LOS CUADRANTES DURANTE UN PERÍODO COMPLETO QUE DURA ALREDEDOR DE UNA HORA, SE OBTIENE UNA MEZCLA UNIFORME.

EN EL PROCESO POR VÍA SECA, EL GRANO CRUDO, EL CUAL TIENE UN CONTENIDO DE HUMEDAD DE CERCA DEL 0,2%, SE HACE PASAR A TRAVÉS DE UN PRECALENTADOR. AQUÍ SE CALIENTA A CERCA DE 800°C ANTES DE INTRODUCIRLO AL HORNO. EL TAMAÑO DEL HORNO PUEDE SER MUCHO MENOR QUE EL QUE SE EMPLEA EN EL PROCESO POR VÍA HÚMEDA, DEBIDO A QUE PRÁCTICAMENTE NO TIENE QUE ELIMINARSE LA HUMEDAD DEL GRANO CRUDO Y A QUE ÉSTE YA HA SIDO PRECALENTADO. ADEMÁS AL PRECALENTAR EL GRANO CRUDO, SE INCREMENTA SU DESCARBONATACIÓN (DISOCIACIÓN DEL CaCO_3), LO QUE IMPLICA UN GRAN AUMENTO EN EL RENDIMIENTO DEL HORNO.

B) COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO PORTLAND

EN LA PRÁCTICA, SE CONSIDERAN CUATRO COMPUESTOS COMO LOS COMPONENTES

TES PRINCIPALES DEL CEMENTO (TABLA No. III.1), LOS CUALES SON:

- 1) SILICATO TRICÁLCICO, FORMADO POR TRES MOLÉCULAS DE CALCIO Y UNA DE SÍLICE. SU FÓRMULA QUÍMICA ES $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, EN FORMA ABREVIADA C3S.
- 2) SILICATO DICÁLCICO, FORMADO POR DOS MOLÉCULAS DE CALCIO Y UNA DE SÍLICE. SU FÓRMULA QUÍMICA ES $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, EN FORMA ABREVIADA C2S
- 3) ALUMINATO TRICÁLCICO, FORMADO POR TRES MOLÉCULAS DE CALCIO Y UNA DE ALÚMINA. SU FÓRMULA QUÍMICA ES $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, EN FORMA ABREVIADA C3A.
- 4) ALUMINOFERRITA TETRACÁLCICA, FORMADO POR CUATRO MOLÉCULAS DE CALCIO, UNA DE ALÚMINA Y UNA DE ÓXIDO DE FIERRO. SU FÓRMULA QUÍMICA ES $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, EN FORMA ABREVIADA C4AF.

ADemás DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES CITADOS, EXISTEN ALGUNOS - COMPONENTES MENORES COMO MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O Y Na_2O , QUE GENERALMENTE NO SOBREPASAN DE UN PEQUEÑO PORCENTAJE EN LA COMPOSICION DEL CEMENTO.

DOS DE LOS COMPONENTES MENORES REVISTEN INTERÉS: LOS ÓXIDOS DE SODIO Y POTASIO, Na_2O Y K_2O , CONOCIDOS COMO ÁLCALIS. SE HA ENCONTRADO QUE ESTOS COMPONENTES REACCIONAN CON ALGUNOS AGREGADOS Y QUE LOS PRODUCTOS DE ESA REACCIÓN OCASIONAN UNA DESINTEGRACIÓN DEL CONCRETO, además DE AFECTAR LA RAPIDEZ CON QUE EL CEMENTO ADQUIERE RESISTENCIA.

NOMBRE	COMPOSICION	ABREVIAT.
Silicato tricálcico	3 CaO SiO_2	C_3S
Silicato dicálcico.	2 CaO SiO_2	C_2S
Aluminato tricálcico	$3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrita tetra- cálcica.	$4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tabla N^o III. 1

Componentes principales del cemento Portland.

EN LA TABLA No. III.4 SE PRESENTA DE MANERA GENERAL LA COMPOSICIÓN DEL CEMENTO, LA CUAL INDICA LOS LÍMITES EN LA MEZCLA DE LOS DIFERENTES ÓXIDOS DE LOS CEMENTOS PORTLAND.

SEGÚN LOS CONOCIMIENTOS ACTUALES DE LA QUÍMICA DEL CEMENTO, INDICAN QUE LOS COMPONENTES PRINCIPALES TIENEN LAS SIGUIENTES PROPIEDADES:

EL SILICATO TRICÁLCICO PURO NO SE ENCUENTRA COMO TAL EN EL CLINKER DEL CEMENTO, SINO QUE INCLUYE OTROS ÓXIDOS AJENOS A SU COMPOSICION, COMO POR EJEMPLO, HASTA 2% EN MASA DE MgO , JUNTO CON Al_2O_3 , Fe_2O_3 Y OTROS.- LAS CANTIDADES DE ESTOS ÓXIDOS PRESENTES EN EL SILICATO TRICÁLCICO DEPENDEN PARTICULARMENTE DE LA COMPOSICIÓN DEL CLINKER, DE LA TEMPERATURA DE COCCIÓN Y DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO. ENFRIADO LENTAMENTE POR DEBAJO DE $1,250^{\circ}C$, EL SILICATO TRICÁLCICO SE PUEDE DESCOMPONER EN C_3O Y C_2S . EL SILICATO TRICÁLCICO ES EL CONSTITUYENTE MÁS IMPORTANTE DEL CEMENTO PORTLAND, PUES AL HIDRATARSE ENDURECE RÁPIDAMENTE Y ES EL FACTOR PRINCIPAL DE FRAGUADO INICIAL Y DEL RÁPIDO ENDURECIMIENTO. EN GENERAL, LA RESISTENCIA PREMATURA DEL CEMENTO ES MAYOR AL AUMENTAR LOS PORCENTAJES DE C_3S .

EL SILICATO DICÁLCICO TAMPOCO SE ENCUENTRA PURO EN EL CLINKER DEL CEMENTO, YA QUE ASIMISMO CONTIENE OTROS ÓXIDOS INCORPORADOS. SE HAYA PRINCIPALMENTE EN ESTADO SÓLIDO A LA TEMPERATURA DE CLINKERIZACIÓN, Y SÓLO EN PEQUEÑAS PROPORCIONES EN LOS CLINKERES CON ALTO CONTENIDO DE CAL. EL DESARROLLO DE SU RESISTENCIA ES LENTO, SI BIEN A LARGO PLAZO LLEGA A ALCANZAR RESISTENCIAS TAN GRANDES POR LO MENOS COMO LAS DEL SILICATO TRICÁLCICO. LOS CEMENTOS EN LOS CUALES LA PROPORCIÓN DE SILICATO DICÁLCICO ES ALTA, TIENEN RESISTENCIA ALTA AL ATAQUE QUÍMICO, DE AQUÍ SON LOS MAS DURABLES CEMENTOS PORTLAND.

Límites de composición aproximados para cemento
Portland.

OXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60 — 67
SiO ₂	17 — 25
Al ₂ O ₃	3 — 8
Fe ₂ O ₃	0.5 — 6.0
MgO	0.1 — 4.0
Alcalis	0.2 — 1.3

Tabla N^o III . 2

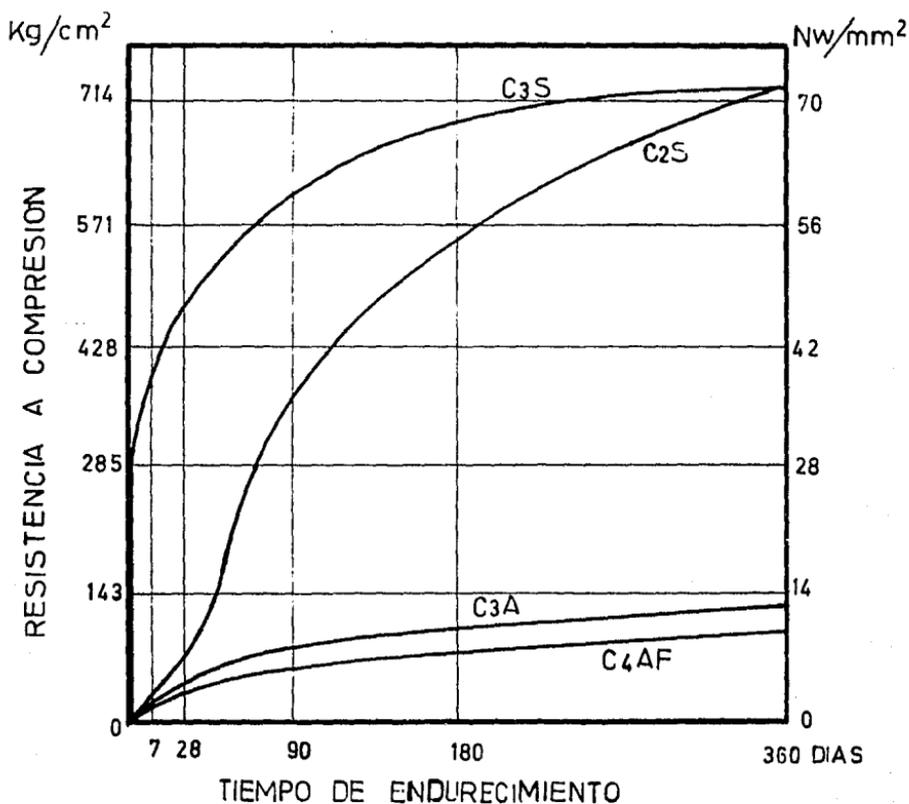
EL ALUMINATO TRICÁLCICO SE HIDRATA MUY RÁPIDAMENTE Y PRODUCE UNA GRAN CANTIDAD DE CALOR AL COMIENZO DE LA HIDRATACIÓN. CON EL FIN DE FRENAR LO ANTERIOR, ES PRECISO AÑADIR AL CEMENTO ALGÚN SULFATO, POR EJEMPLO YESO, PARA RETARDAR EL PROCESO DEL FRAGUADO. EL ALUMINATO TRICÁLCICO CONTRIBUYE MUY POCO A LA RESISTENCIA ÚLTIMA, ES MENOS RESISTENTE AL ATAQUE QUÍMICO, SIENDO PARTICULARMENTE VULNERABLE A LA ACCIÓN DESINTEGRANTE DE LOS SULFATOS DEL AGUA DEL SUBSUELO. EL CONCRETO QUE VA A QUEDAR EN CONTACTO CON SUELO O AGUA CON CONCENTRACIONES DE SULFATOS MODERADAS DEBE HACERSE CON CEMENTO QUE TENGA MENOS DEL 8% DE ALUMINATO TRICÁLCICO.

EL COMPUESTO FORMADO POR ALUMINOFERRITA TETRACÁLCICA REDUCE LA TEMPERATURA DE CLINKERIZACIÓN, AYUDANDO POR TANTO, A LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO, ADEMÁS COMUNICA SU COLOR AL CEMENTO ORDINARIO. LA ALUMINOFERRITA TETRACÁLCICA REACCIONA MUY LENTAMENTE Y CARECE DE IMPORTANCIA SIGNIFICATIVA DIRECTA A EFECTOS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO.

EN LA FIG. No. III.2 SE MUESTRA EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DE LOS COMPUESTOS PRINCIPALES DEL CEMENTO.

SE PUEDE OBSERVAR QUE, EL C₃S CONTRIBUYE MAYORMENTE AL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DURANTE LAS PRIMERAS CUATRO SEMANAS Y EL C₂S INFLUYE SOBRE EL AUMENTO EN RESISTENCIA DE LA CUARTA SEMANA EN ADELANTE. A LA EDAD DE ALREDEDOR DE UN AÑO, ESTOS DOS COMPONENTES CONTRIBUYEN APROXIMADAMENTE EN LA MISMA MEDIDA A LA RESISTENCIA FINAL.

LA INFLUENCIA DE LOS OTROS COMPUESTOS PRINCIPALES SOBRE EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO, AUNQUE EN MÍNIMA PROPORCIÓN, SE NOTA PRINCIPALMENTE HASTA LOS 28 DÍAS, PARA DESPUÉS PERMANECER CASI CONSTANTE.



Relación agua - cemento = 0.5

C₃S — Silicato tricálcico

C₂S — Silicato dicálcico

C₃A — Aluminato tricálcico

C₄AF — Aluminoferrita tetracálcica

Fig. N° III. 2 Desarrollo de las resistencias de los compuestos del cemento

CAPITULO IV

REACCIONES QUIMICAS DEL CONCRETO

GENERALIDADES

EN ESTE CAPÍTULO SE TRATARÁN LOS EFECTOS, REACCIONES Y ATAQUES QUÍMICOS QUE SUFRE UN CONCRETO TANTO EN SU ETAPA DE FLUIDEZ COMO EN SU ETAPA DE TRABAJO (YA ENDURECIDO).

DENTRO DE SU ETAPA DE FLUIDEZ (CONCRETO FRESCO) SE VERÁ LA REACCIÓN DE LIXIVIACIÓN (ACCIÓN Y EFECTO DE DISOLVER EN AGUA UNA SUBSTANCIA ALCALINA) Y LA HIDRATACIÓN (REACCIONES QUÍMICAS RESULTANTES DE LA COMBINACIÓN DEL AGUA CON EL CEMENTO) COMO LAS MAS IMPORTANTES. DENTRO DE LA ETAPA DE ENDURECIDO SE VERÁN LAS REACCIONES POR ATAQUES QUÍMICOS DE LOS SULFATOS, EL AGUA DE MAR Y LOS ÁCIDOS; ESTAS REACCIONES SE VERÁN DESDE EL PUNTO DE VISTA DESTRUCTIVO DE ESTAS SUBSTANCIAS.

A) REACCIONES QUÍMICAS DEL CONCRETO FRESCO

A.1) HIDRATACION DE LOS CEMENTOS.- LA HIDRATACIÓN ES UN PROCESO QUÍMICO EN EL CUAL EL AGUA SE COMBINA CON LAS SUBSTANCIAS QUE SE HIDRATAN. EN LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO TIENE LUGAR UNA CONSOLIDACIÓN, ES DECIR, EL PASO DE UN SISTEMA INICIALMENTE LÍQUIDO O PLÁSTICO (EN ESTE CASO LA PASTA DE CEMENTO)- A UN ESTADO SÓLIDO (LA PASTA ENDURECIDA). EN LA PRÁCTICA LA CONSOLIDACIÓN TIENE LUGAR EN DOS FASES O ETAPAS: LA DE FRAGUADO Y LA DE ENDURECIMIENTO.- SE PRODUCE PRIMERO EL FRAGUADO INICIAL, DESPUÉS DEL CUAL QUEDA UN MATERIAL SÓLIDO AUNQUE TODAVÍA NO RESISTENTE, EL CUAL VA TOMANDO RESISTENCIA PROGRESIVAMENTE, EN LA SEGUNDA ETAPA DEL ENDURECIMIENTO. EL PASO DEL FRAGUADO INICIAL AL ENDURECIMIENTO TRANSCURRE GRADUALMENTE. EN LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO SE LLEVAN A CABO SIMULTÁNEAMENTE VARIOS PROCESOS DE DIVERSA NATURALE

ZA; LOS MÁS IMPORTANTES SON ALGUNOS DE LOS QUE MENCIONAMOS A CONTINUACIÓN:

- REACCIONES QUÍMICAS ESPECIALMENTE DE HIDRATACIÓN.
- PROCESO DE DISOLUCIÓN Y CRISTALIZACIÓN, EN LOS CUALES SE PRODUCE LA FORMACIÓN DE NUEVOS COMPUESTOS HIDRATADOS DE NATURALEZA GELIFORME O CRISTALINO (FASES HIDRATADAS).
- PROCESOS INTERFACIALES EN LOS QUE FUERZA DE ATRACCIÓN ACTÚAN ENTRE LAS SUPERFICIES PRODUCIENDO LA LIGACIÓN (ADHERENCIA) DE LOS CONSTITUYENTES DE LA PASTA DE CEMENTO Y EN SU CASO DEL HORMIGÓN.

LA REACCIÓN DE HIDRATACIÓN ES EXOTÉRMICA, ES DECIR, EN ELLA SE DESPRENDE CALOR. ÉSTE DESPRENDIMIENTO DE CALOR EN EL ENDURECIMIENTO DE UN CEMENTO LLEGA A ALCANZAR UN MÁXIMO EN UN PERÍODO DE UNO A TRES DÍAS DISMINUYENDO DESPUÉS; SIEMPRE Y CUANDO NO HAYA PÉRDIDA DE CALOR. LA CANTIDAD DE CALOR DESPRENDIDO EN RELACIÓN CON EL TIEMPO, DEPENDE DEL TIPO DE CEMENTO Y EN PARTICULAR DE LAS FASES EXISTENTES EN EL MISMO, DE LA EVENTUAL PRESENCIA DE ADICIONES (ESCORIA DE ALTO HORNO, PUZOLANAS, ETC) Y DE LA FINURA.

EL RESULTADO FINAL DE LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN ES UN PRODUCTO DURO DE ALTA RESISTENCIA. LA DE LA PASTA ENDURECIDA ES DEBIDA EN PRIMER LUGAR A SU ESTRUCTURA INTERNA; EN LA CUAL INTERVIENEN DECISIVAMENTE LA CONFIGURACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA HIDRATACIÓN (FASES HIDRATADAS), Y LA ORDENACIÓN ESPACIAL DE ÉSTOS, ASÍ COMO SU GRADO DE COMPACTAD O DENSIDAD APARENTE (POROSIDAD). EL AGUA AÑADIDA NECESARIA PARA LA HIDRATACIÓN SE COMBINA QUÍMICAMENTE FORMANDO HIDRÓXIDOS, Y SE CONSIDERA USAR APROXIMADAMENTE UN 30% COMO MÁXIMO CON RESPECTO AL VOLUMEN DE CEMENTO (SE CONDICIONA LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO MENOR O IGUAL A 3). ADEMÁS DE ÉSTA AGUA COMBINADA QUÍMICAMENTE HAY OTRA AGUA FÍSICAMENTE UNIDA (ADSORBIDA) EN LA SUPERFICIE DE LAS FASES HIDRATADAS, LA CUAL CORRESPONDE APROXIMADAMENTE A UNA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

MENOR O IGUAL A 0.1. AÚN HAY OTRA AGUA PRESENTE QUE ES LA ALOJADA POR CAPI-
LARIDAD EN LOS ESPACIOS VACÍOS DE LA PASTA DE CEMENTO, A MAYOR CANTIDAD DE
AGUA CAPILAR, SERÁ MENOR LA RESISTENCIA MECÁNICA, LA RESISTENCIA QUÍMICA Y
LA RESISTENCIA AL HIELO DE LA PASTA DE CEMENTO; YA QUE LOS POROS AUMENTAN -
LA PERMEABILIDAD EN LA PASTA. ESTA REACCIÓN TAMBIÉN ES APLICABLE A LOS MOR-
TEROS, CONCRETOS Y HORMIGONES.

EN LA FIG. NO. IV.1 SE MUESTRA GRÁFICAMENTE LA VARIACIÓN DE LA RE-
SISTENCIA FINAL CON RESPECTO A LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO.

LA RESISTENCIA FINAL DE LA PASTA DE CEMENTO EN CONDICIONES NORMA-
LES DE ENDURECIMIENTO (A TEMPERATURA ORDINARIA Y SIN PRESIÓN) EN EL CASO -
MÁS FAVORABLE PUEDE LLEGAR A ALCANZAR HASTA 700 Kg/cm^2 , SEGÚN EXPERIENCIAS
DE LABORATORIO. EL FACTOR MÁS DECISIVO QUE INFLUYE EN EL DESARROLLO DE LAS
RESISTENCIAS ES LA POROSIDAD CAPILAR, SIENDO FACTORES DE INFLUENCIA SECUNDA-
RIA LA COMPOSICIÓN DEL CEMENTO Y LAS CONDICIONES DE ENDURECIMIENTO DEL CON-
CRETO. ÉSTA RESISTENCIA FINAL NO SE LLEGA A ALCANZAR EN GENERAL, EN CONDI-
CIONES PRÁCTICAS REALES.

EN LA PRÁCTICA LA RESISTENCIA DE LOS MORTEROS Y DE LOS CONCRETOS
ESTÁN INFLUENCIADAS ESPECIALMENTE POR LOS SIGUIENTES FACTORES:

- TIPO Y CALIDAD DEL CEMENTO UTILIZADO
- RELACIÓN AGUA-CEMENTO.
- TIPO Y CALIDAD DE AGREGADOS.
- TIPO Y CALIDAD DE ADITIVOS. (EN CASO DE USARSE)
- COMPACIDAD Y CALIDAD DE CURADO.
- TEMPERATURA DE COLADO.

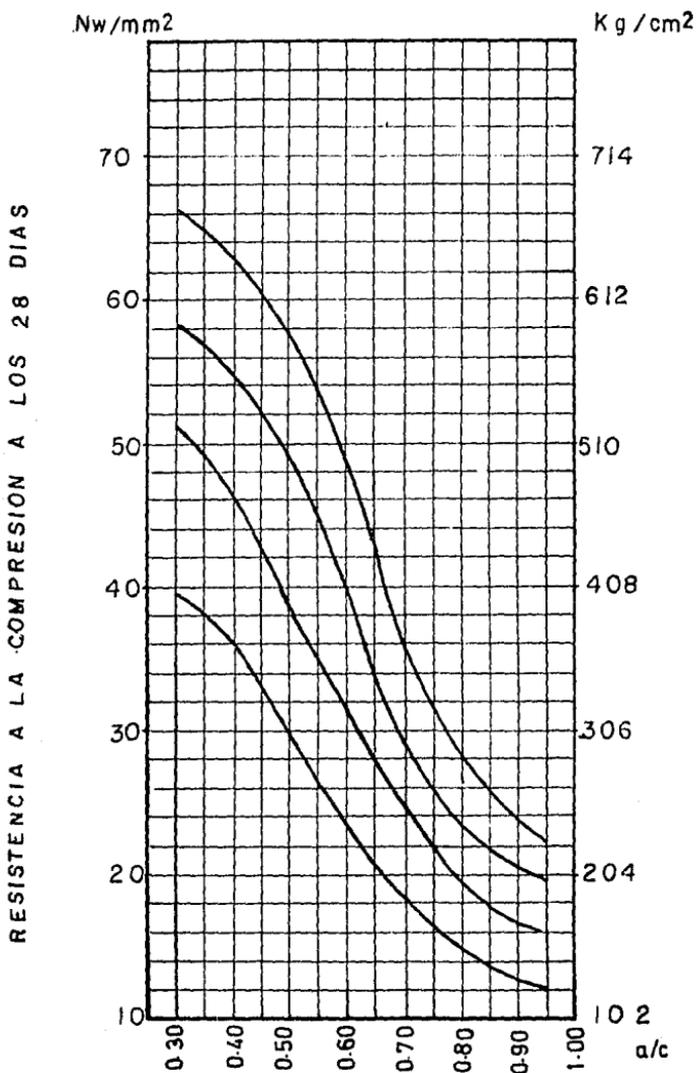


Fig. N° IV.1 Relación entre la resistencia a compresión a 28 días y la relación agua./cemento.

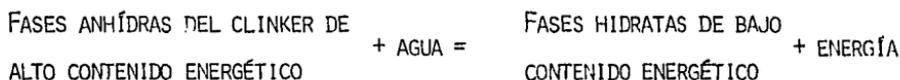
A.2) EFECTO DE LA CONGELACION. ANTES DE HABLAR DE LOS EFECTOS DAÑINOS DE LA CONGELACIÓN Y EL DESHIELO EN UN CONCRETO ENDURECIDO, CONSIDERAREMOS LA ACCIÓN DEL HIELO SOBRE EL CONCRETO FRESCO, Y LOS PROBLEMAS QUE SE RELACIONAN CON LA ELABORACIÓN DE ÉSTE EN CLIMA FRÍO.

SI SE PERMITE QUE EL CONCRETO SE CONGELE ANTES DE FRAGUAR LA ACCIÓN DEL HIELO ES MUY SIMILAR A LA QUE SE OBSERVA EN UN SUELO SATURADO SOMETIDO A DISLOCACIÓN.

EL AGUA DE MEZCLADO SE CONGELA Y EN CONSECUENCIA SE OBSERVA UN AUMENTO EN EL VOLUMEN DEL CONCRETO; ADEMÁS, YA QUE NO HAY AGUA PARA REACCIONAR QUÍMICAMENTE SE RETRASAN EL FRAGUADO Y EL ENDURECIMIENTO. A PARTIR DE LA OBSERVACIÓN ANTERIOR SE PUEDE CONCLUIR QUE SI EL CONCRETO SE CONGELÁ INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE HABER SIDO COLOCADO EN EL MOLDE O CIMBRA, NO FRAGUARÁ; MIENTRAS LA TEMPERATURA SEA BAJA, EL PROCESO DE FRAGUADO QUEDARÁ PENDIENTE. CUANDO LA TEMPERATURA AUMENTE A MÁS DE 5°C , EL CONCRETO EN CUESTIÓN SE DEBERÁ REVIBRAR Y ENTONCES SE LLEVARÁ A CABO LA ACCIÓN DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO SIN PERDER SU RESISTENCIA DISEÑADA; SIN EMBARGO, COMO EL AGUA DE MEZCLADO SE EXPANDE A CAUSA DE LA CONGELACIÓN, LA FALTA DE VIBRADO CAUSARÁ QUE EL CONCRETO FRAGÜE EN PRESENCIA DE GRAN CANTIDAD DE POROS, Y EN CONSECUENCIA DISMINUYA LA RESISTENCIA FINAL. EL REVIBRADO EN EL MOMENTO PRECISO DEL DESHIELO (5°C) PUEDE PRODUCIR UN CONCRETO SATISFACTORIO, PERO ÉSTE PROCEDIMIENTO NO ES RECOMENDABLE QUE SE LLEVE A CABO, EXCEPTO CUANDO SEA INEVITABLE.

A.3) HIDRATACION DE LOS COMPUESTOS DEL CLINKER.

EN GENERAL LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN SE PUEDEN REPRESENTAR DE UNA FORMA ESQUEMÁTICA SIMPLE MEDIANTE LA SIGUIENTE ECUACIÓN:



EL PROGRESO DE LAS REACCIONES SE PUEDE MEDIR EN FUNCIÓN DE LOS COMPUESTOS QUE SE FORMAN DEL CALOR DESPRENDIDO EN LA HIDRATACIÓN, DEL AGUA COMBINADA QUÍMICAMENTE Y DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA. SON PARTICULARMENTE IMPORTANTES LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN DEL ALUMINATO Y DEL SILICATO TRICALCÍCO; PUES EL SILICATO DICÁLCICO REACCIONA DE LA MISMA MANERA QUE EL SILICATO TRICALCÍCO, MIENTRAS QUE EL FERRITO NO TIENE UNA GRAN IMPORTANCIA EN CUANTO A LOS EFECTOS DE HIDRATACIÓN.

A.3.1) ALUMINATO TRICALCÍCO.- EN AUSENCIA DE YESO EL ALUMINATO REACCIONA MUY RÁPIDAMENTE:

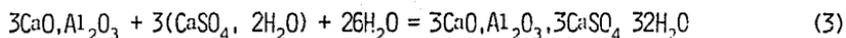


TAMBIÉN REACCIONA CON GRAN RAPIDEZ EN PRESENCIA DE HIDRÓXIDO CÁLCICO, EL CUAL SE FORMA EN LA HIDRATACIÓN DE LOS SILICATOS CÁLCICOS:



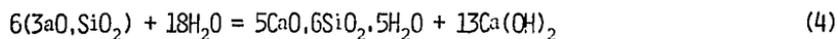
LAS REACCIONES (1) Y (2) PRODUCIRÍAN UN FRAGUADO DEMASIADO RÁPIDO DEL CEMENTO EN SU ESTADO NATURAL; PARA EVITAR ÉSTO SE ADICIONA SULFATO (YESO) EN LA MO-

LIENDA DEL CLINKER. EN PRESENCIA DEL YESO LA REACCIÓN TRANSCURRE DE LA SIGUIENTE FORMA:



EN LAS REACCIONES (1) Y (2) SE FORMAN ALUMINATOS CÁLCICOS HIDRATADOS, QUE DAN LUGAR MUY RÁPIDAMENTE A UNA ESTRUCTURA COMPARABLE CON LA DE UN CASTILLO DE NAIPES, LA CUAL POSEE UNA CIERTA RESISTENCIA QUE DA COMO RESULTADO EL PRINCIPIO DEL FRAGUADO. SIN EMBARGO, EN LA REACCIÓN (3), SE FORMA EN PRIMER LUGAR ETTRINGITA FINAMENTE CRISTALINA. ÉSTA SE DEPOSITA COMO PELÍCULA DELGADA SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS DEL CEMENTO DURANTE LAS PRIMERAS HORAS DE LA HIDRATACIÓN; LA PELÍCULA ASÍ FORMADA PERMITE AÚN EL DESLIZAMIENTO RECÍPROCO DE UNAS PARTÍCULAS SOBRE OTRAS, CON LA CUAL LA PASTA DE CEMENTO PERMANECE EN ESTADO PLÁSTICO. EL FRAGUADO SOLO COMIENZA, CUANDO LA ETTRINGITA FORMA LARGOS CRISTALES ACICULARES (EN FORMA DE AGUJA) AL CABO DE ALGUNAS HORAS, LOS CUALES CREAN PUENTES A TRAVÉS DE LOS ESPACIOS ENTRE LAS PARTÍCULAS DE CEMENTO, ENTRETEJIENDO A ÉSTAS.

A.3.2) SILICATO TRICALCICO.- EL SILICATO TRICALCICO REACCIONA CON AGUA PARA FORMAR SILICATOS CÁLCICOS HIDRATADOS, CON DESPRENDIMIENTO SIMULTÁNEO DE HIDRÓXIDO CÁLCICO. EL SILICATO DICÁLCICO REACCIONA DE FORMA SIMILAR. LA REACCIÓN DEL SILICATO TRICALCICO ES COMO A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE:



LOS SILICATOS CÁLCICOS QUE SE FORMAN VARÍAN EN SU DESARROLLO CRISTALINO (LAMINAR, TUBULAR, FIBROSO, ETC.) Y EN SU COMPOSICIÓN, SEGÚN LAS CONDICIONES DE SU FORMACIÓN (RELACIÓN AGUA-CEMENTO, TEMPERATURA, ETC.); NO OBSTANTE, --

SIEMPRE SON FINAMENTE CRISTALINOS Y CONSTITUYEN LOS PRINCIPALES APORTADORES DE RESISTENCIA A LA PASTA DEL CEMENTO.

B) REACCIONES QUÍMICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO

LAS REACCIONES QUÍMICAS MÁS FRECUENTES QUE SUFRE EL CONCRETO SON LA LIXIVIACIÓN DEL CEMENTO Y LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS, EL AGUA DE MAR Y LAS AGUAS LIGERAMENTE ÁCIDAS. LA TABLA IV.1 MUESTRA EL EFECTO DE ALGUNOS PRODUCTOS QUÍMICOS COMUNES. EN TÉRMINOS GENERALES LA RESISTENCIA DEL CONCRETO VARÍA DE ACUERDO CON EL CEMENTO UTILIZADO; SE HA OBSERVADO QUE LA RESISTENCIA AUMENTA EN EL SIGUIENTE ORDEN:

- 1º CEMENTO PORTLAND DE FRAGUADO NORMAL Y RÁPIDO,
- 2º CEMENTO PORTLAND DE ALTO HORNO O DE BAJO CALOR,
- 3º CEMENTO PORTLAND RESISTENTE A LOS SULFATOS
- 4º CEMENTO SUPERSULFATADO
- 5º CEMENTO DE ALTA ALÚMINA

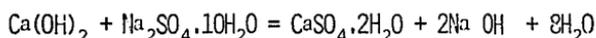
SIN EMBARGO, EN SOLUCIONES FUERTES DE $MgSO_4$ (HASTA DEL 3.5% DE CO_3) CON EL CEMENTO SUPERSULFATADO SE OBSERVA UN ATAQUE MÁS RÁPIDO QUE CUANDO SE USA UN CEMENTO RESISTENTE A LOS SULFATOS. EN SOLUCIONES CONCENTRADAS DE Na_2SO_4 PARECE SER QUE LA RESISTENCIA RELATIVA SE INVIERTE, PERO LAS OPINIONES AL RESPECTO ESTÁN DIVIDIDAS. ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE EN ALGUNOS CASOS, LA DENSIDAD Y LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO INFLUYEN EN SU DURABILIDAD A TAL GRADO QUE SUPERAN LA INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO EMPLEADO,

TÁBLA IV - I EFECTOS DE ALGUNOS PRODUCTOS QUIMICOS DE USO COMUN EN EL MERCADO

PRODUCTOS QUIMICOS VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMPERA. AMBIENTE.	ACIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS	SOLUCIONES ALCALINAS	SOLUCIONES SALINAS	DIVERSOS
RAPIDA	CLORIDRICO FLUORHIDRICO NITRICO SULFURICO	ACETICO FORMICO LACTICO.	_____	CLORURO DE: -ALUMINIO	_____
MODERADA	FOSFORICO	TANICO	HIDROXIDO DE SODIO > 20 % *	NITRATO DE : - AMONIO SULFATO DE : - amonio - sodio - magnesio - calcio	BROMO (GAS) SULFITO LIQUIDO
LENTA	CARBONICO	_____	HIDROXIDO DE SODIO DEL 10 AL 20 % HIPOCLORITO DE SODIO	CLORURO DE : AMONIO MAGNESIO SODIO	CLORO (GAS) AGUA DE MAR AGUA SUAVE
MINIMA	_____	OXALICO TARTARICO	HIDROXIDO DE SODIO 10 % # HIPOCLORITO DE SODIO HIDROXIDO DE AMONIO	CLORURO DE : CALCIO SODIO NITRATO DE ZINC CROMATO DE SODIO.	AMONIACO (LIQUIDO)

* Evitar el uso de agregados silíceos, porque son atacados por soluciones concentradas de Hidróxido de sodio.

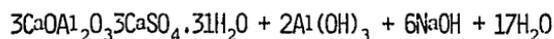
B.1) REACCIÓN CON LOS SULFATOS.- LAS SALES EN ESTADO SÓLIDO NO REACCIONAN CON EL CONCRETO, PERO CUANDO SE ENCUENTRAN EN SOLUCIÓN PUEDEN REACCIONAR CON LA PASTA DEL CEMENTO ENDURECIDO; POR EJEMPLO: ALGUNAS ARCILLAS CONTIENEN ÁLCALIS, MAGNESIO Y SULFATO DE CÁLCIO; Y EL AGUA SUBTERRÁNEA DE ÉSTE TIPO DE ARCILLA ES EN REALIDAD UNA SOLUCIÓN DE SULFATO, EN CONSECUENCIA PUEDE REACCIONAR CON EL CEMENTO, PUESTO QUE EL SULFATO REACCIONA CON EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Y CON LOS HIDRATOS DE ALUMINATO DE CALCIO. LOS PRODUCTOS DE LA REACCIÓN, YESO Y SULFOALUMINATO DE CÁLCIO, TIENEN UN VOLUMEN MUCHO MAYOR QUE LOS COMPUESTOS QUE REEMPLAZAN; DE TAL MANERA QUE SU REACCIÓN CON LOS SULFATOS PRODUCE EXPANSIÓN Y RUPTURA DEL CONCRETO. LA REACCIÓN ENTRE EL SULFATO DE SODIO Y EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ SE PUEDE EXPRESAR COMO SE INDICA A CONTINUACIÓN:



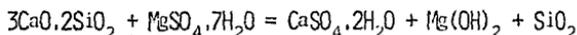
EN EL AGUA QUE FLUYE, EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ SE PUEDE LIXIVIAR COMPLETAMENTE, PERO, SI SE ACUMULA EL NaOH , SE LOGRA EL EQUILIBRIO Y SE DEPOSITA ÚNICAMENTE PARTE DEL SO_3 COMO YESO.

LA REACCIÓN CON EL HIDRATO DE ALUMINATO DE CALCIO SE PUEDE FORMULAR DE LA SIGUIENTE MANERA:

$2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) + 3(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ NOS DA LO SIGUIENTE:



EL SULFATO DE CALCIO ATACA SOLAMENTE EL HIDRATO ALUMINATO DE CALCIO Y FORMA SULFOALUMINATO DE CALCIO, POR OTRA PARTE EL SULFATO DE MAGNESIO ATACA LOS HIDRATOS DEL SILICATO DE CALCIO Y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, LO MISMO QUE EL HIDRATO DE ALUMINATO DE CALCIO EL PATRÓN DE LA REACCIÓN ES:



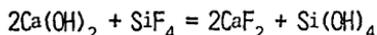
DEBIDO A LA BAJA SOLUBILIDAD DEL $\text{Mg}(\text{OH})_2$ LA REACCIÓN LLEGA A COMPLEMENTARSE DE MANERA QUE, EN CIERTAS CONDICIONES EL ATAQUE DEL SULFATO DE MAGNESIO ES MAS GRAVE QUE EL DE OTROS SULFATOS. ES POSIBLE QUE HAYA UNA REACCIÓN ADICIONAL ENTRE EL MgOH_2 Y LA SÍLICE DEL GEL, Y ÉSTA TAMBIÉN PUEDE CAUSAR DETERIORO.

B.2) REACCION CON EL AGUA DE MAR.- EL AGUA DE MAR CONTIENE SULFATOS QUE REACCIONAN DE FORMA SIMILAR A LO EXPUESTO EN EL INCISO ANTERIOR. ADEMÁS DE LA ACCIÓN QUÍMICA, LA CRISTALIZACIÓN DE LAS SALES DENTRO DE LOS POROS DEL CONCRETO ENDURECIDO PUEDE PRODUCIR RUPTURAS DEBIDAS A LA PRESIÓN EJERCIDA POR LOS CRISTALES DE SAL; PUESTO QUE LA CRISTALIZACION DE LAS SALES OCURRE EN EL MOMENTO DE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA; ESTA REACCIÓN SE LLEVA A CABO EN EL CONCRETO QUE SE ENCUENTRA EN EL NIVEL DEL AGUA, SIN EMBARGO, DEBIDO A QUE LA SAL EN SOLUCIÓN SUBE POR CAPILARIDAD, EL ATAQUE SE PRESENTA ÚNICAMENTE CUANDO EL AGUA PUEDA PENETRAR EN EL CONCRETO; MOTIVO POR EL CUAL PARA ESTE CASO EL FACTOR DE IMPERMEABILIDAD ES MUY IMPORTANTE.

B.3) REACCION CON LOS ACIDOS.- CUANDO EL CONCRETO ESTÁ HÚMEDO, EL SO_2 , EL CO_2 Y OTROS VAPORES ÁCIDOS QUE SE ENCUENTRAN PRESENTES EN LA ATMÓSFERA ATACAN AL CONCRETO DISOLVIENDO Y ELIMINANDO PARTE DEL CEMENTO FRAGUADO, DEJANDO UNA MASA SUAVE Y PEGAJOSA EN LA SUPERFICIE. ESTE ATAQUE FRECUENTEMENTE OCURRE EN CHIMENEAS, TÚNELES DE FERROCARRILES DE VAPOR Y EN ALGUNAS INDUSTRIAS.

EN LA PRÁCTICA, LA REACCIÓN SE LLEVA A CABO CON VALORES DE pH INFERIORES A 6.5 APROXIMADAMENTE. PARA VALORES DE pH ENTRE 3 Y 6 LA VELOCIDAD DE ATAQUE PROGRESA PROPORCIONALMENTE A LA RAÍZ CUADRADA DEL TIEMPO; ESTO INDICA QUE EL FACTOR QUE RIGE ES LA DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LAS CAPAS RESIDUALES DE PRODUCTOS DE POCA SOLUBILIDAD, LOS CUALES QUEDAN UNA VEZ QUE SE HA QUITADO EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ POR DISOLUCIÓN. ASÍ PUES, NO ES SOLAMENTE EL pH SINO TAMBIÉN LA CAPACIDAD DE LOS IONES PARA SER TRANSPORTADOS LA QUE INFLUYE EN EL PROGRESO DEL ATAQUE. ASÍ MISMO, LA VELOCIDAD DE ATAQUE DISMINUYE CUANDO LOS AGREGADOS QUEDAN EXPUESTOS, PORQUE LA SUPERFICIE VULNERABLE ES MENOR Y EL MEDIO DE ATAQUE TIENE QUE VIAJAR EN TORNO A LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO.

EL CONCRETO SE PUEDE PROTEGER CONTRA EL ATAQUE DE ÁCIDOS SUJETÁNDOLO EN EL VACÍO A LA ACCIÓN DE GAS DE TETRACLORURO DE SILICIO, ESTE GAS REACCIONA CON LA CAL DE LA SIGUIENTE MANERA:



EL TRATAMIENTO SE PUEDE APLICAR SOLO A CONCRETO PREFABRICADO, EN CUYO CASO SE CONOCE COMO OCRAT-CONCRETE.

B.4) EFLORESCENCIA.-EN DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS LA LIXIVIACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA CAL PUEDE PROVOCAR LA FORMACIÓN DE DEPÓSITOS DE SAL SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO, LO CUAL SE CONOCE COMO EFLORESCENCIA. ESTO SE OBSERVA FRECUENTEMENTE CUANDO EL AGUA SE FILTRA EN EL CONCRETO MAL COMPACTADO, A TRAVÉS DE GRIETAS O DE JUNTAS MAL HECHAS Y CUANDO PUEDA HABER EVAPORACIÓN DESDE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO, EL CARBONATO DE CALCIO FORMADO POR LA REACCIÓN DEL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ CON EL CO_2 QUEDA COMO RESIDUO EN FORMA DE DEPÓSITO BLANCO; ASÍ MISMO SE ENCONTRARÁN DEPÓSITOS DE SULFATO DE CALCIO.

ES MÁS PROBABLE QUE HAYA EFLORESCENCIA EN CONCRETO QUE TENGA POROS CERCA DE LA SUPERFICIE; DE TAL MANERA QUE, ADEMÁS DEL SANGRADO DE COMPACTACIÓN Y LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO, EL TIPO DE CIMBRA PUEDE REPRESENTAR UN FACTOR IMPORTANTE. LA EFLORESCENCIA ES MAYOR EN CLIMAS FRIOS Y HÚMEDOS SEGUIDO DE UNA ÉPOCA DE CALOR; AL PRINCIPIO DE ESTA SECUENCIA HAY UNA LIGERA CARBONATACIÓN, LA CAL SE DISUELVE CON LA HUMEDAD DE LA SUPERFICIE, Y FINALMENTE EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ES ARRASTRADO HACIA ÉSTA ÚLTIMA.

LA EFLORESCENCIA TAMBIÉN SE PUEDE DEBER AL USO DE AGREGADOS DE ARENA DE MAR SIN LAVAR; EL RECUBRIMIENTO DE SAL QUE RODEA AL AGREGADO PUEDE, A MEDIDA QUE PASA EL TIEMPO FORMAR UN DEPÓSITO BLANCO SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO. EL YESO Y LOS ÁLCALIS DE LOS AGREGADOS PUEDEN EJERCER UN EFECTO SIMILAR.

CAPITULO V

MODIFICACIONES Y CONTROL DE LAS
PROPIEDADES DEL CONCRETO POR ME
DIO DE ADITIVOS Y AGREGADOS ES-
PECIALES

GENERALIDADES

DESDE HACE MUCHOS AÑOS SE SABE QUE EL CONCRETO NO SOLO SE HACE CON CEMENTO, AGUA Y AGREGADOS PARA DARLE DETERMINADAS CARACTERÍSTICAS, POR ESTA RAZÓN ANTES SE UTILIZABA LA HEMOGLOBINA DE LA SANGRE DE LOS TOROS Y ÉSTA LE DABA MAYOR PLASTICIDAD A LAS MEZCLAS FORMADAS CON CALES Y CEMENTOS NATURALES; TAMBIÉN SE SABE DE ALGUNAS CONSTUMBRES DE UTILIZAR CLARAS DE HUEVO EN LAS MEZCLAS HECHAS DE CAL Y LA ÉPOCA COLONIAL, Y AÚN MÁS ANTES, EN LOS PRIMEROS CONCRETOS FABRICADOS SE SABE QUE SE UTILIZABA SAL COMÚN, ALUMBRE, JABÓN, SECRECIÓN DE NOPAL, ETC., CON EL FIN DE MODIFICAR SUS PROPIEDADES, PERO SIN NINGÚN CONTROL, LA DIFERENCIA DE HOY EN DÍA ES QUE SE UTILIZAN DIFERENTES ADITIVOS PARA MODIFICAR SU ESTRUCTURA, Y ES TAN AMPLIA SU GAMA QUE HAY UNO PARA CADA NECESIDAD.

TAMBIÉN ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE NO SOLO LOS ADITIVOS MODIFICAN LAS PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS, SINO QUE EXISTEN OTROS FACTORES EXTERNOS O INTERNOS QUE CUMPLEN SU COMETIDO; A CONTINUACIÓN SE MENCIONA LA CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES MODIFICADORES:

- A) ADITIVOS
- B) AGREGADOS ESPECIALES
- C) PUZOLANAS

A) ADITIVOS

DEFINICION.- EL INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO Y LA AMERICAN SOCIETY FOR TEXTING AND MATERIALS DEFINEN COMO ADITIVO A UNA SUBSTANCIA QUÍMICA DISTINTA DE LOS AGREGADOS, DEL CEMENTO Y DEL AGUA QUE INTERVIENE DE -

UNA FORMA DIRECTA EN LA MANUFACTURA DEL CONCRETO Y SIRVE PARA MEJORAR SUS PROPIEDADES Y CUALIDADES PARTICULARES.

HAY QUE TOMAR EN CUENTA, QUE UN ADITIVO NO ES UN ESTIMULANTE PARA LOGRAR UN EFECTO PASAJERO, AUNQUE HAY ALGUNOS ADITIVOS QUE TIENEN ESA FUNCIÓN ADEMÁS DE PRODUCIR EFECTOS COMPLETAMENTE ESTABLES. TAMPOCO SE CONSIDERA UN ADITIVO COMO UNA SUBSTANCIA QUE SUSTITUYA A LOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO. PARA OBTENER UN BUEN CONCRETO SE NECESITAN BUENOS AGREGADOS, BUEN CEMENTO, BUENA AGUA Y BUENA MANO DE OBRA, Y ÉSTOS ELEMENTOS NO SE PUEDEN OBTENER CON UN ADITIVO.

CLASIFICACION Y TIPO DE ADITIVOS.- A PESAR DE LAS MUY DIVERSAS PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS, SE HAN PODIDO ESTABLECER GRUPOS BIEN DEFINIDOS ATENDIENDO AL EFECTO QUE CAUSAN EN EL CONCRETO MAS BIEN QUE A SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.

A CONTINUACIÓN PRESENTAMOS UNA TABLA DONDE APARECEN LOS GRUPOS Y TIPOS, LOS CUALES POSTERIORMENTE SE DESCRIBEN UNO A UNO.

ADITIVOS	1) MEJORADORES DE LA MANEJABILIDAD DEL CONCRETO O PLASTIFICANTES	{ 1) INCLUSORES DE AIRE 2) DISPERSANTES Y FLUIDIZANTES 3) DENSIFICANTES 4) OTROS PLASTIFICANTES
	2) MODIFICADORES DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y DE ENDURECIMIENTO	{ 1) RETARDANTES 2) ACELERANTES
	3) IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES	{ 1) REPELENTE A LA ABSORCIÓN CAPILAR 2) REDUCTORES DE LA PERMEABILIDAD.
	4) AGENTES EXPANSORES	{ 1) GENERADORES DE GAS. 2) ESTABILIZADORES DE VOLUMEN.
	5) MATERIALES PULVERIZADOS	{ 1) INERTES Y CEMENTANTES 2) PUZOLANAS 3) AGENTES DE CRISTALIZACIÓN.
	6) AGENTES DE ADHERENCIA	
	7) ANTICORROSIVOS	{ 1) DEL CONCRETO 2) DEL ACERO.
	8) COLORANTES	

TABLA V.1 GRUPOS Y TIPOS DE ADITIVOS.

A.1) MEJORADORES DE LA MANEJABILIDAD DEL CONCRETO O PLASTIFICANTES

A.1.1) INCLUSORES DE AIRE.- EN UNA MEZCLA DE CONCRETO EL AIRE FORMA PARTE DE LOS COMPONENTES, PUES SU PRESENCIA LE DÁ MAYOR PLASTICIDAD Y OCUPA UN LUGAR EN ÉSTA. ADEMÁS SE PUEDE DECIR QUE HACE AL CONCRETO ENDURECIDO MAS DURABLE.

LOS ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE DEBEN SATISFACER LOS REQUISITOS DE LAS ESPECIFICACIONES "ASTI" (C-260), DE ACUERDO A ÉSTA ESPECIFICACIÓN SE ASEGURA QUE LOS ADITIVOS ACTUEN REALMENTE COMO AGENTES INCLUSORES DE AIRE SIN PERJUDICAR LAS PROPIEDADES ESENCIALES DEL CONCRETO, COMO LA RESISTENCIA Y EL CAMBIO DE VOLUMEN. PARA UNA MISMA CANTIDAD DE ADITIVO INCLUSOR DE AIRE POR UNIDAD DE VOLUMEN EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO POBRE, QUE POR SU NATURALEZA TIENEN MAYOR CONTENIDO DE ARENA, PUEDEN INCLUIR MAS AIRE QUE LAS MEZCLAS RICAS EN CEMENTO, ÉSTO SE DEBE A QUE LA ARENA ES EL FACTOR PREDOMINANTE EN "PRODUCIR" AIRE, MIENTRAS QUE EL CEMENTO ES EL FACTOR QUE LO INHIBE.

ALGUNOS OTROS ADITIVOS QUE SE USAN EN LA MANUFACTURA DEL CONCRETO PUEDEN TENER INFLUENCIA NEGATIVA EN LA INCLUSIÓN DE AIRE. POR EJEMPLO: EL CARBÓN UTILIZADO COMO COLORANTE Y LA CENIZA VOLCÁNICA (FLY ASH) SON REDUCTORES, ASÍ COMO EL CLORURO DE CALCIO. OTROS FACTORES COMO EL REVENIMIENTO Y LA TEMPERATURA HACEN VARIAR EL EFECTO DEL ADITIVO (REDUCTOR) A REVENIMIENTO MAYOR DE 15 CM, EL AIRE NO PERMANECE ESTABLE EN LA MASA, Y A MENOR TEMPERATURA SE INCLUYE MAS CANTIDAD DE AIRE CON EL MISMO VOLUMEN DE ADITIVO. LA CANTIDAD DE AIRE INCLUIDA EN UN CONCRETO SE OPTIMIZA ENTRE 3 Y 6% DEL VOLUMEN DE LA MEZCLA, PERO ÉSTA ES FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO; ENTRE

MAS GRANDE, MENOR CANTIDAD DE AIRE NECESITA, Y VICEVERSA; EN UN CONCRETO -
CON AGREGADO MÁXIMO DE 1/2" Ø SE PUEDE REQUERIR HASTA UN 9% DE AIRE INCLUI-
DO, ASÍ MISMO EN UN MORTERO SE LLEGA A REQUERIR HASTA UN 20%.

ALGUNOS MÁS DE LOS EFECTOS DE AIRE INCLUIDO EN UNA MEZCLA DE CON-
CRETO SON: DOCILIDAD DE LOS AGREGADOS, AUMENTO EN LA COHESIÓN, COMO YA SE -
MENCIONÓ ANTERIORMENTE AUMENTO EN LA DURABILIDAD, RESISTENCIA AL CONGELA-
MIENTO Y DESHIELO, ETC. CABE ACLARAR QUE AL CONGELARSE EL AGUA CONTENIDA -
EN UNA MEZCLA DE CONCRETO, ÉSTA TIENDE A OCUPAR LOS ESPACIOS DE AIRE INCLUI-
DO, SI NO EXISTIERA EL AIRE EL CONCRETO SUFRIRÍA AGRIETAMIENTOS POR LA EX-
PANSIÓN NATURAL DEL AGUA AL SOLIDIFICARSE, ASÍ MISMO TAMBIÉN SE EVITA LA -
POSIBLE CORROSIÓN POR LOS SULFATOS.

A.1.2) DISPERSANTES O FLUIDIZANTES.- ESTE TIPO DE ADITIVOS SOLO -
TIENE SU ACCIÓN EN EL CEMENTO, PERMITIENDO EXPONER MAYOR SUPERFICIE DE LAS
PARTÍCULAS DE ÉSTE A LA HIDRATACIÓN, Y ES MAS QUE NADA UNA ACCIÓN QUÍMICA
QUE TIENDE A IONIZAR LAS PARTÍCULAS DEL CEMENTO, LO CUAL IMPLICA QUE ÉSTAS
SE RECHACEN UNAS A OTRAS Y ASÍ HACEN MÁS FLUÍDA LA MEZCLA.

LOS AGENTES DISPERSANTES MAS USUALES SON SUBSTANCIAS ORGÁNICAS -
QUE TIENEN COMO BASE LOS ÁCIDOS LIGNOSULFÓNICOS Y SUS SALES O MODIFICACIO--
NES Y DERIVADOS DE LOS MISMOS. LA ACCIÓN DEL LIGNOSULFONATO DE CALCIO SO-
BRE EL CEMENTO PORTLAND SE PUEDE EXPLICAR DE LA SIGUIENTE MANERA:

CUANDO SE INTRODUCE LA MACROMOLÉCULA DEL LIGNOSULFATO EN EL SISTE-
MA AGUA-CEMENTO, ÉSTA MACROMOLÉCULA SE ABSORBE, ORIENTANDO SUS RADICALES -

MENOS POLARES SOBRE LOS GRÁNULOS DE CEMENTO, Y SUS RADICALES SALINOS HACIA LAS MOLÉCULAS DE AGUA. (SEGÚN TEORÍA DEL DR. STEOPE, EXPUESTA Y AMPLIADA POR EL PROFESOR M. DURIEZ).

LA ADSORCIÓN DEL LIGNOSULFONATO DE CALCIO DEPENDE POR OTRA PARTE, DE LA NATURALEZA DEL CEMENTO MISMO. EL ADITIVO MANIFIESTA UNA ACCIÓN MAS FAVORABLE CON LOS CEMENTOS RICOS EN C_3S , Y POR EL CONTRARIO LOS CEMENTOS CON MAYOR PROPORCIÓN DE C_3A BLOQUEAN AL ADITIVO, LO QUE HACE NECESARIO UNA MAYOR CANTIDAD DE ÉSTE PARA OBTENER EL MISMO RESULTADO. LA TEORÍA DE STEOPE DEMUESTRA QUE ES NECESARIO ATRIBUIR EL EFECTO LUBRICANTE DE LAS PARTÍCULAS ABSORBIDAS, A LA HIDROFILIA (PROPIEDAD QUE TIENEN ALGUNAS PARTÍCULAS DE - ABSORBER EL AGUA) A LA HIDROFILIA Y A LA SOLUBILIDAD DE LA SUPERFICIE DE - LOS GRANOS Y NO PRECISAMENTE AL FENÓMENO QUE CARACTERIZA A LOS ACEITES LUBRICANTES, AUNQUE EL RESULTADO SEA EL MISMO.

AL UTILIZAR UN ADITIVO DE ÉSTE TIPO, OBIAMENTE SE OBTIENE UN CONCRETO TRABAJABLE CON EL MÍNIMO CONTENIDO DE AGUA Y EN CONSECUENCIA ALCANZARÁ MAYOR RESISTENCIA AL ENDURECER POR HABERSE REDUCIDO LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO; POR LO TANTO TAMBIÉN PODEMOS LLAMAR A ÉSTE "AGENTE REDUCTOR DE AGUA" NO OBSTANTE EL CONSTRUCTOR PODRÁ OBTENER TRES EFECTOS DISTINTOS .

- i) SI SE CONSERVAN LAS MISMAS CANTIDADES DE AGUA Y DE CEMENTO DE UNA MEZCLA Y ADEMÁS SE ADICIONA DISPERSANTE, PRODUCE UN AUMENTO EN LA FLUIDEZ Y EN EL REVENIMIENTO, POR LO TANTO AUMENTA LA MANEJABILIDAD DEL CONCRETO.
- ii) SI SE REDUCE LA CANTIDAD DE AGUA Y SE CONSERVA LA CANTIDAD - DEL CEMENTO, NO AUMENTA EL REVENIMIENTO NI LA FLUIDEZ, PERO SI

LA RESISTENCIA FINAL, PORQUE SE ESTÁ REDUCIENDO LA RELACIÓN -
AGUA-CEMENTO.

- iii) SI SE REDUCE LA CANTIDAD DE LECHADA PARA CONSERVAR EL MISMO RE-
VENIMIENTO, NO MEJORARÁ LA FLUIDEZ, NI HABRÁ UN CAMBIO EN LA RE-
SISTENCIA FINAL DEL CONCRETO, PORQUE SE CONSERVA LA RELACIÓN -
AGUA-CEMENTO, PERO SE CONSUME MENOS CEMENTO POR CADA METRO CÚBI
CO DE CONCRETO.

A.1.3) DENSIFICADORES.- LOS AGENTES DENSIFICADORES TIENEN ACCIÓN SOBRE EL -
CEMENTO REGULANDO LA FORMACIÓN DE GELES. ÉSTOS ADITIVOS SON SALES ORGÁNICAS
DEL GRUPO DE LOS ÁCIDOS HIDROXÍLICOS, CARBOXÍLICOS Y SUS DERIVADOS. SU EFEC
TO PRINCIPAL ES DAR MAYOR CAPACIDAD A LA PASTA DE CEMENTO Y RETARDAR EL -
TIEMPO DE FRAGUADO CONSERVANDO A LA PASTA EN SU ESTADO PLÁSTICO HASTA QUE -
EMPIEZA EL ENDURECIMIENTO. LOS ADITIVOS DENSIFICADORES SE ENCUENTRAN EN EL
MERCADO GENERALMENTE EN FORMA LÍQUIDA, SE PUEDEN USAR EN CONCRETOS HECHOS
POR CUALQUIER TIPO DE CEMENTO PORTLAND INDEPENDIENTEMENTE DE LA CANTIDAD, -
FORMA Y CALIDAD DE LOS AGREGADOS. ÉSTOS SE AÑADEN AL AGUA DE COLADO EN PRO-
PORCIONES QUE VARÍAN ENTRE 60 Y 120 Cm^3 POR CADA 50 KILOGRAMOS DE CEMENTO -
CUANDO LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL AGUA FLUCTÚAN ENTRE 18°C Y 30°C. SI -
SE LLEGARA A USAR MAYOR CANTIDAD DE ADITIVO NO REBASANDO LOS 240 Cm^3 POR CA
DA 50 KILOGRAMOS DE CEMENTO, SE PROLONGARÁ EL TIEMPO DE FRAGUADO Y SE OBTEN-
DRÁ MAYOR RESISTENCIA FINAL, PERO HAY QUE MANTENER EL CONCRETO BIEN MOJADO
HASTA QUE ENDUREZCA.

A.1.4) OTROS PLASTIFICANTES.- NO TODOS LOS PLASTIFICANTES SON REDUCTORES DE AGUA, ENTRE LOS PLASTIFICANTES TRADICIONALES UNO DE LOS MÁS ANTIGUOS ES LA CAL, QUE SE HA VENIDO USANDO PARA DAR PROPIEDADES PLÁSTICAS A LOS MORTEROS DE CEMENTO-ARENA Y AÚN A CIERTOS CONCRETOS, PERO SE REQUIERE UN AUMENTO EN EL CONTENIDO DE AGUA. RECIENTEMENTE SE HA ESTABLECIDO EL USO DE MATERIALES FINAMENTE PULVERIZADOS, YA SEA QUE SE ENCUENTREN EN FORMA NATURAL O SE LOGREN INTENCIONALMENTE POR MOLIENDA. COMO ESTOS MATERIALES LE DÁN SIMULTÁNEAMENTE DIVERSAS PROPIEDADES AL CONCRETO HAN SIDO CONSIDERADAS EN UN GRUPO INDEPENDIENTE, YA QUE GENERALMENTE MODIFICAN LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO Y LA RELACIÓN ARENA-GRAVA EN FORMA SUSTANCIAL.

A.2) MODIFICADORES DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y DE ENDURECIMIENTO.

A.2.1). RETARDANTES.- RETARDAR EL FRAGUADO DE UN CEMENTO ES PROLONGAR EL PERÍODO QUE TRANSCURRE DESDE QUE SE LE ADICIONA EL AGUA HASTA EL PRINCIPIO DE LA HIDRATACIÓN, NO SE DEBE DE CONFUNDIR EL EFECTO DE RETARDAR EL FRAGUADO CON EL DE HACER MAS LENTO EL PROCESO DE ENDURECIMIENTO. COMO LOS RETARDANTES DE FRAGUADO SON MUY ÚTILES EN LA REVIBRACIÓN DEL CONCRETO ES CONVENIENTE INSISTIR QUE EN ESTA PRÁCTICA AUMENTA LA COMPACIDAD SIN RIESGO DE FISURACIÓN CUANDO SE LLEVA A CABO, A VECES HASTA ALGUNAS HORAS DESPUÉS DE HABER SIDO COLOCADO EL CONCRETO EN SU MOLDE Y DE HABERSE VIBRADO POR PRIMERA VEZ.

GENERALMENTE LOS RETARDANTES ALARGAN EL TIEMPO DE FLUÍDEZ DE LA PASTA DE CEMENTO, PERO HAY ALGUNOS QUE POR EL CONTRARIO ACORTAN LA FLUIDEZ, PERO RETARDAN EL PRINCIPIO DEL ENDURECIMIENTO COMO SE MUESTRA EN LA FIG.NO. V.1.

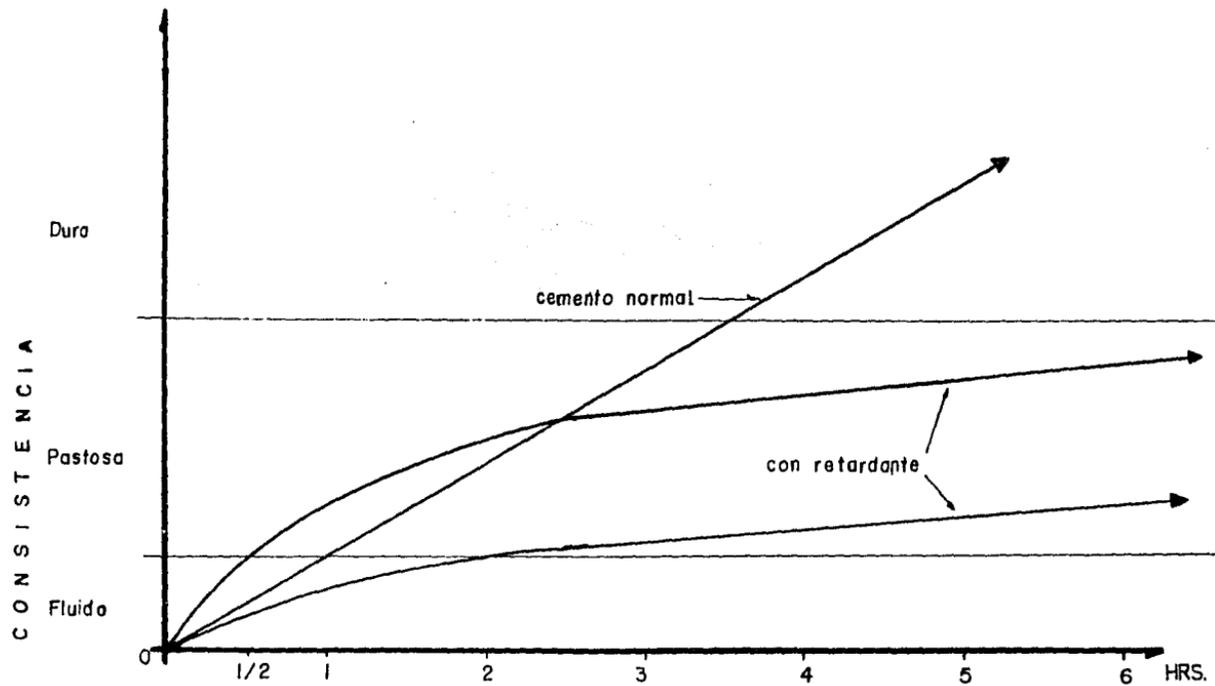


Fig. Nº V. 1 Comportamiento del concreto en las primeras horas de fraguado.

ENTRE LAS SUBSTANCIAS CAPACES DE PRODUCIR UN RETARDO EN EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO SE PUEDE HACER MENCIÓN DE LAS SIGUIENTES: EL AZÚCAR, LA GLUCOSA, LA GLICERINA, EL ÁCIDO FOSFÓRICO, EL ACETATO DE CALCIO, - EL BICARBONATO DE SODIO, DIVERSOS NITRATOS, EL SULFATO DE SODIO (TRISÓDICO), EL SULFATO DE ALUMINIO, EL SULFATO DE ZINC, EL SULFATO DE COBRE, EL SULFATO DE FIERRO, EL ÓXIDO DE PLOMO, EL ÓXIDO DE ZINC, Y ALGUNOS OTROS MÁS; SIN EMBARGO NO SE PUEDEN EMPLEAR EN SU FORMA NATURAL DEBIDO A QUE PRODUCEN TRASTORNOS EN LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO. ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE UN RETARDANTE DEBE CUMPLIR LA CONDICIÓN DE RETARDAR SOLAMENTE EL CONCRETO EN SU ETAPA DE FLUIDEZ Y FRAGUADO INICIAL, SIN MODIFICAR EL TIEMPO DE ENDURECIMIENTO NI SU RESISTENCIA FINAL. NORMALMENTE EL USO DE ESTE ADITIVO SE LLEVA A CABO CUANDO ES NECESARIO REVIBRAR, O HAY DIFICULTAD PARA EL ACOMODO DEL CONCRETO EN LOS MOLDES DE CIMBRA, Y NORMALMENTE SE OBTIENE UN AUMENTO DE RESISTENCIA FINAL.

A.2.2.) ACELERANTES. EXISTEN DOS TIPOS DE ACELERANTES, LOS DE FRAGUADO Y LOS DE ENDURECIMIENTO. LOS ACELERANTES DE FRAGUADO SUELEN LLAMARSE TAMBIÉN ACELERANTES ULTRARRÁPIDOS O SELLADORES. ESTOS ADITIVOS GENERALMENTE SON LÍQUIDOS PREPARADOS PARA ADICIONARSE AL CEMENTO SECO O AL MORTERO, EL CUAL SE ENDURECE APROXIMADAMENTE ENTRE 15 Y 30 SEGUNDOS DESDE EL MOMENTO QUE ENTRA EN CONTACTO CON EL SELLADOR (CEMENTO O MORTERO), DILUYENDO EL LÍQUIDO EN AGUA Y VARIANDO LAS PROPORCIONES SE PUEDE GRADUAR LA VELOCIDAD DEL FRAGUADO A LAS NECESIDADES REQUERIDAS.

LOS ACELERANTES DE ENDURECIMIENTO SE COMBINAN QUÍMICAMENTE CON EL CEMENTO DURANTE LA HIDRATACIÓN, EN DIFERENCIA A LOS ACELERANTES DE FRAGUADO,

ESTOS CONTRIBUYEN A QUE SE TENGAN RESISTENCIAS MAYORES A EDADES TEMPRANAS - DE CONCRETO ENDURECIDO. LOS PRODUCTOS QUÍMICOS QUE REACCIONAN ADELANTANDO - LA RESISTENCIA DE LA PASTA DE CEMENTO Y AGUA COMPRENDEN A ALGUNOS CLORUROS SOLUBLES COMO EL DE CALCIO Y EL DE SODIO, ADEMÁS DE ALGUNOS SILICATOS, CARBONATOS, FLUOSILICATOS E HIDRÓXIDOS.

DENTRO DE LOS ACELERANTES, TAMBIÉN PODEMOS CONSIDERAR LOS CATALIZADORES, Y DENTRO DE ÉSTOS EL MÁS CUMÚN ES EL TRI-ETANOL-AMINA QUE ACTÚA EN - FORMA DIFERENTE CON DISTINTOS TIPOS Y MARCAS DE CEMENTOS. APARENTEMENTE ES MÁS EFECTIVO CON LOS CEMENTOS DE ALTO CONTENIDO DE C_3A ; PERO SU ACCIÓN ES SIEMPRE MENOS EFICAZ COMO ACELERANTE QUE EL $CaCl_2$. TIENE EN CAMBIO LA VENTAJA DE QUE NO PROVOCA NINGUNA CORROSIÓN EN EL FIERRO Y PUEDE SER USADO SIN NINGÚN RIESGO EN EL CONCRETO PREENFORZADO Y EN CIRCUNSTANCIAS DONDE NO PUEDE UTILIZARSE EL CLORURO DE CALCIO.

A.3) IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES.

A.3.1) REPELENTES A LA ABSORCIÓN CAPILAR.- ESTOS ADITIVOS SON SUBSTANCIAS QUÍMICAS COMPRENDIDAS DENTRO DE LOS GRUPOS DE ESTEARATOS, OLEATOS Y ALGUNOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO; LOS MÁS USUALES SON LOS DEL GRUPO DE LOS ESTEARATOS (AMONIO, BUTILO Y CALCIO); LOS OLEATOS SON POCO USUALES DEBIDO A QUE FORMAN ESPUMA; Y LOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO DEBIDO A QUE PUEDEN PROVOCAR LA DESINTEGRACIÓN DEL CONCRETO TAMBIÉN SON POCO USUALES.

ESTOS ADITIVOS SE MEZCLAN CON EL CONCRETO EN EL MOMENTO DE PREPARARLO, EL ESTEARATO DE CALCIO ES ALTAMENTE REPELENTE AL AGUA E INSOLUBLE.- ESTE PRODUCTO LO ENCONTRAMOS EN EL MERCADO EN FORMA DE POLVO QUE SE ADICIONA

NA EN EL CEMENTO Y LOS AGREGADOS (EN LA REVOLVEDORA) ANTES DE ADICIONAR EL AGUA. LOS ESTEARATOS DE AMONIO Y DE BUTILO SON SOLUBLES AL AGUA Y SE AGREGAN A ÉSTA CUANDO SE ENCUENTRAN EN CONTACTO CON LA CAL LIBERADA DEL CEMENTO, DURANTE EL PROCESO DE DILATACIÓN, SE FORMAN ESTEARATOS DE CALCIO QUE SE ADHIEREN A LAS PAREDES DE LOS POROS Y PEQUEÑOS CONDUCTOS LLENOS DE AGUA DONDE FORMAN UNA PELÍCULA MUY DELGADA AL SECARSE EL CONCRETO, HACIENDO A ESTOS CONDUCTOS REPELENTES AL AGUA Y A SU VEZ LOS HACE NO ABSORBENTES O DE CAPILARIDAD NULA.

A.3.2) REDUCTORES DE LA PERMEABILIDAD.- EN GENERAL TODO LOS TIPOS REDUCTORES DE AGUA Y DEL SANGRADO, CONTRIBUYEN A LA REDUCCIÓN DE LA PERMEABILIDAD; PERO TAMBIÉN ES INDISPENSABLE QUE EL CONTENIDO DE CEMENTO SEA SUFICIENTE PARA EVITAR LA PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ENDURECIDO. SE PUEDE ESTABLECER QUE EL CONTENIDO MÍNIMO DEL CEMENTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO SEA DE 250 KILOGRAMOS PARA OBTENER RESULTADOS SATISFACTORIOS DE IMPERMEABILIDAD AL USAR UN ADITIVO ADECUADO. ESTOS MISMOS RESULTADOS PODRÍAN OBTENERSE SI EL CONTENIDO DE CEMENTO ES DE 400 KILOGRAMOS O MÁS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO, SIN REQUERIR UN ADITIVO, SIEMPRE Y CUANDO SE TENGA UNA BUENA COLOCACIÓN, SE EVITE EL SANGRADO EXCESIVO Y SE MANTENGA UN BUEN CURADO DURANTE SIETE DÍAS.

LOS IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES MAS COMUNES ESTAN COMPUESTOS A BASE DE LIGNOSULFONATOS, CARBOHIDRÓXIDOS O ESTEARATOS CON INCLUSORES DE AIRE, PUES LAS BURBUJAS DE AIRE EN LA RED CAPILAR DETIENEN LA ABSORCIÓN Y ASÍ PUEDEN HACER UN CONCRETO ENDURECIDO IMPERMEABLE.

A.4) AGENTES EXPANSORES.

A.4.1) GENERADORES DE GAS.- LA REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DEL CONCRETO POR ASEN-

TAMIENTO DE LOS AGREGADOS Y LA PÉRDIDA DE AGUA POR SANGRADO PUEDE SER EXCESIVO O CUANDO MENOS INDESEABLE EN EL CONCRETO ENDURECIDO, POR ESTA RAZÓN ES CONVENIENTE SI SE VA A RELLENAR UNA CAVIDAD, HUECOS O GRIETAS, USAR UN ADITIVO EXPANSOR. EL POLVO DE ALUMINIO AGREGADO A UN CONCRETO REACCIONA CON EL HIDRÓXIDO DE LA CAL LIBRE DEL CEMENTO DURANTE EL FRAGUADO, GENERANDO HIDRÓGENO EN BURBUJAS MUY PEQUEÑAS QUE SE DISTRIBUYEN EN TODA LA MASA, DE ESTA MISMA FORMA REACCIONA EL CEMENTO CON ZINC Y EL MAGNESIO, PERO MENOS EFICACES QUE CON EL ALUMINIO. LA RAPIDEZ E INTENSIDAD DE LA REACCIÓN DEPENDEN DEL TIPO Y DE LA CANTIDAD DE POLVO DE ALUMINIO QUE SE AGREGUE A LA MEZCLA, ASÍ COMO DE LA FINURA DEL CEMENTO, TEMPERATURA, PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES Y ALGUNOS OTROS FACTORES. EL PORCENTAJE DE ALUMINIO PARA TENER UNA COMPENSACIÓN DE TODAS LAS DISMINUCIONES DE VOLUMEN QUE SUFRE UN CONCRETO DESDE QUE SE COLOCA EN LOS MOLDES HASTA QUE ESTÁ ENDURECIDO Y SECO, ES DEL ORDEN DEL 0.005 AL 0.02% DEL PESO DEL CEMENTO.

LOS ADITIVOS GENERADORES DE GAS A BASE DE POLVO DE ALUMINIO, SON PRODUCTOS COMBINADOS DE DISPERSANTES, REPELENTES, RETARDANTES O PUZOLANAS, QUE FACILITAN LA DISPERSIÓN EN LA MASA DE CONCRETO O EVITAN LA ABSORCIÓN CAPILAR. CUANDO ES CONTROLADA DEBIDAMENTE LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO PRODUCE UNA LIGERA EXPANSIÓN EN LA MASA DE CONCRETO Y REDUCE EL ASENTAMIENTO DE LOS AGREGADOS SIMILAR AL INCLUSOR DE AIRE. SIN EMBARGO, COMO LAS BURBUJAS DE HIDRÓGENO TIENDEN A SUBIR, NO PRODUCEN EFECTO FAVORABLE EN LA DISMINUCIÓN DEL SANGRADO. CUANDO SE RESTRINGE O LIMITA LA EXPANSIÓN CAUSADA POR EL ADITIVO GENERADOR DE GAS SE AUMENTA LA ADHERENCIA AL ACERO DE REFUERZO Y SE OBTIENE UN BUEN EMPAQUE EN ELEMENTOS POSTENSADOS.

A.4.2) ESTABILIZADORES DE VOLUMEN.- A ESTE GRUPO PERTENECEN CIERTOS PRODUCTOS QUE DURANTE LA HIDRATACIÓN DEL CONCRETO SE EXPANDEN ELLOS MISMOS, POR CIERTAS REACCIONES QUÍMICAS. A DIFERENCIA DE LOS GENERADORES DE GAS AUMENTAN SU VOLUMEN SOLAMENTE EN UNA PROPORCIÓN DEFINIDA EN ESTADO SÓLIDO, POR LO QUE NO ES NECESARIO CONFINAR COMPLETAMENTE EL CONCRETO AL CUAL SE AÑADEN, PERO EN CAMBIO ES NECESARIO QUE SU ACCIÓN EXPANSIVA NO COMIENZE ANTES DE QUE EL CONCRETO TENGA SUFICIENTE RESISTENCIA PARA QUE ÉSTE PUEDA SOPORTAR LOS ESFUERZOS DE TENSIÓN QUE SE PROVOCAN.

CON UNA DOSIS ADECUADA SE CONSIGUE ESTABILIZAR EL VOLUMEN EVITANDO REDUCCIONES DEBIDAS NO SÓLO A LA PÉRDIDA DE AGUA POR SANGRADO, SINO TAMBIÉN A LAS DE CONTRACCIÓN Y AÚN A LAS DE RETRACCIÓN POR SECAMIENTO DEL CONCRETO ENDURECIDO. ENTRE ESTOS ADITIVOS SE ENCUENTRAN LA LIMADURA DE HIERRO, EL CEMENTO ALUMINOSO Y LAS POSIBLES VARIANTES DE ESTE ÚLTIMO. EL MATERIAL MAS USADO ES EL HIERRO DE FUNDICIÓN EN FORMA DE VIRUTA, REBABA O LIMADURA, GRADUADO Y TRATADO QUÍMICAMENTE PARA ACELERAR SU OXIDACIÓN, PROVOCANDO ASÍ UNA EXPANSIÓN. LA EXPANSIÓN SE PRODUCE POR EL AUMENTO DE VOLUMEN SÓLIDO CONFORME SE VA CONVIRTIENDO EN ÓXIDO DE HIERRO, LO CUAL TIENE LUGAR BAJO LA ACCIÓN DEL AIRE Y LA HUMEDAD. COMO EL CATALIZADOR QUE SE LE AÑADE PARA REGULAR EL TIEMPO DE OXIDACIÓN TIENE QUE GUARDAR UNA PROPORCIÓN EXACTA CON EL HIERRO, NO DEBE UTILIZARSE ESTE ADITIVO SIMULTÁNEAMENTE CON ACELERANTES DE FRAGUADO. ES RECOMENDABLE USAR ESTE ADITIVO AL 80% RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO, PUES CASI SIEMPRE SE USA EN PEQUEÑAS CANTIDADES DE MEZCLA PARA HACER EMPAQUES, RECIBIR ANCLAS, ASENTAR COLUMNAS O ESTATUAS. COMO LA OXIDACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE FIERRO TIENE LUGAR DURANTE EL TIEMPO DE FRAGUADO

SE VA DEBILITANDO CONFORME EL CONCRETO SE VA ENDURECIENDO; SIEMPRE SUJETO A UN BUEN CURADO, Y ESTA OXIDACIÓN AL FIN CESA COMPLETAMENTE, PERO MAS -- TARDE AL SECARSE EL CONCRETO SE PIERDE PARTE DEL AGUA, Y EL AIRE QUE LA - SUSTITUYE PRODUCE UNA NUEVA OXIDACIÓN; ASÍ PUES CADA VEZ QUE EL CONCRETO - SE SATURE POR ABSORCIÓN CAPILAR Y AL SECARSE NUEVAMENTE PRODUCIRÁ OTRA OXI DACIÓN, MOTIVO POR EL CUAL SE RECOMIENDA SELLAR LA SUPERFICIE CON ALGÚN - BARNÍZ O MORTERO SELLADOR CONTENIENDO UN IMPERMEABILIZANTE INTEGRAL SEGÚN LO REQUIERA EL ELEMENTO QUE SE ESTÉ TRATANDO.

A.5) MATERIALES PULVERIZADOS.

A.5.1) INERTES Y CEMENTANTES.- EN MEZCLAS ESCASAS DE "FINOS", SE PUEDE LO-- GRAR UNA MEJORÍA NOTABLE EN LA TRABAJABILIDAD POR MEDIO DE LA ADICIÓN DE - ADITIVOS ADECUADOS, CON LO QUE SE LOGRA UNA REDUCCIÓN EN EL SANGRADO Y UN - AUMENTO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO. LOS MATERIALES PULVERIZADOS SON DE TAN DIVERSA CONSTITUCIÓN UNOS DE OTROS, QUE SE ADICIONAN AL CONCRETO SEGÚN SUS PROPIEDADES; YA SEA SIN REDUCIR LA CANTIDAD DE CEMENTO POR METRO CÚBICO O BIEN SUSTITUYENDO LA MISMA CANTIDAD DE CEMENTO EN PESO O EN VOLUMEN, PERO MÁS BIEN, EL VOLUMEN DE POLVO QUE SE DOSIFICA ES BASTANTE MAYOR QUE EL CE-- MENTO QUE SE PUEDE ECONOMIZAR, POR LO QUE EN ESTE CASO NO SE PUEDE CONSIDERAR A ESTA CLASE DE MATERIALES COMO REEMPLAZANTES DEL CEMENTO.

ALGUNOS MATERIALES MUY FINAMENTE MOLIDOS SE USAN EN PROPORCIONES - DEL 5 AL 15% EN PESO CON RELACIÓN AL CEMENTO MIENTRAS QUE OTROS CON CIERTAS PROPIEDADES CEMENTANTES SE DOSIFICAN ENTRE EL 15 Y EL 30%. LOS ADITIVOS MÁS IMPORTANTES DE ESTE TIPO SON: LA CENIZA VOLCÁNICA (FLY-ASH) QUE ALCANZA A - REDUCIR EL VOLUMEN DE CEMENTO HASTA EN UN 15%, LA ESCORIA DE ALTO HORNO QUE

FINAMENTE MOLIDA REDUCE HASTA UN 65% EL VOLUMEN DE CEMENTO, LA ARENA SILICOSA QUE AL REACCIONAR CON LA CAL FORMA HIDRATOS COLOIDALES DE SILICATO DE CALCIO Y BAJA LA TEMPERATURA DE HIDRATACIÓN, ASI MISMO LAS ARENAS DE CUARZO TIENEN GRAN RESISTENCIA A LAS ALTAS TEMPERATURAS.

EN GENERAL ESTE TIPO DE ADITIVOS MEJORAN LA RESISTENCIA DE LOS CONCRETOS POBRES EN CEMENTO, PERO DISMINUYEN LA DE LOS RICOS, AUNQUE SU EMPLEO A VECES SEA ACONSEJABLE EN ESTOS ÚLTIMOS PORQUE REDUCEN LA RETRACCIÓN Y LOS RIESGOS DE AGRIETAMIENTO.

A.5.2) PUZOLANAS.- LAS PUZOLANAS SON MATERIALES SILICOSOS O SILICO-ALUMINOSOS QUE POR SI MISMOS NO TIENEN PROPIEDADES CEMENTANTES, PERO QUE CUANDO SE ENCUENTRAN FINAMENTE PULVERIZADOS Y EN PRESENCIA DE HUMEDAD, REACCIONAN QUÍMICAMENTE CON EL HIDRÓXIDO DE LA CAL A LA TEMPERATURA ORDINARIA PARA FORMAR COMPUESTOS QUE SI TIENEN PROPIEDADES CEMENTANTES.

LAS PUZOLANAS SE ENCUENTRAN EN EL GRUPO DE LOS ADITIVOS PUES SE CONSIDERA QUE MODIFICAN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO AL OBTENERSE MEJORES RESULTADOS EN CUANTO A RESISTENCIA FINAL; PERO TAMBIÉN SE CONSIDERA QUE ES UN AGENTE QUE MODIFICA LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO, LO CUAL SE VE DETALLADAMENTE EN EL INCISO "C" DE ESTE CAPÍTULO.

A.5.3) AGENTES DE CRISTALIZACION.- ESTOS AGENTES BÁSICAMENTE SON GÉRMENES DE CRISTALIZACIÓN QUE DEBIDO A UN FENÓMENO FÍSICO SE REPRODUCEN Y MULTIPLICAN DANDO LUGAR A FORMACIONES CRISTALINAS QUE SE ENLAZAN PROGRESIVAMENTE ACCELERANDO EL ENDURECIMIENTO Y AUMENTANDO LA RESISTENCIA DEL CONCRETO. EN PRUEBAS DE LABORATORIO SE HAN ALCANZADO RESISTENCIAS SORPRENDENTES EN CON-

CRETOS UTILIZANDO GÉRMESES TRATADOS CON CLORURO DE CALCIO Y SE HA OBSERVADO QUE NO EXISTE RETRACCIÓN O EXPANSIÓN EN ESTOS. ES INTERESANTE OBSERVAR QUE LOS GÉRMESES DE CRISTALIZACIÓN NO NECESARIAMENTE TIENEN QUE SER ADICIONADOS AL CONCRETO, PUES SE HA PRECISADO QUE TALES GÉRMESES SE CREAN SOLOS DURANTE EL PROCESO DE REVIBRADO AL HABERSE INICIADO YA SU ETAPA DE FRAGUADO.

A.6) AGENTE DE ADHERENCIA.-

EL OBJETIVO DE ESTOS ADITIVOS ES AUMENTAR LA ADHERENCIA ENTRE CONCRETO NUEVO Y CONCRETO VIEJO MEDIANTE MODIFICACIONES A LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO NUEVO. ESTOS ADITIVOS SON ÚTILES CUANDO SE TRATA DE REMENDAR O REPARAR CONCRETOS YA ENDURECIDOS, EROSIONADOS O DETERIORADOS, O BIEN CUANDO SE TRATA DE AGREGAR CAPAS DELGADAS DE CONCRETO O MORTERO EN PISOS Y AZOTEAS. TAMBIÉN TIENEN UTILIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PASTAS DE YESO, MORTERO O ESTUCCO PARA APLANADOS, YA SEA EXTERIORES O INTERIORES.

LOS ADITIVOS DE ESTE TIPO GENERALMENTE SON EMULSIONES CON ALGUNOS MATERIALES ÓRGÁNICOS QUE TAMBIÉN PUEDEN APLICARSE SUPERFICIALMENTE SOBRE CONCRETO VIEJO ANTES DE COLOCAR EL NUEVO (COMO LIGA ENTRE AMBOS), ALGUNOS DE LOS ADITIVOS MÁS COMUNES SON A BASE DE HULE NATURAL O SINTÉTICO, LATEX O UNA GRAN VARIEDAD DE PLÁSTICOS TALES COMO EL CLORURO DE POLIVINILO, LOS ACRÍLICOS, LOS COPOLÍMEROS, ETC.

EXISTEN DOS CATEGORÍAS DE ESTE TIPO DE ADITIVO: LOS REEMULSIONABLES Y LOS NO-REEMULSIONABLES, ESTOS ÚLTIMOS SON RESISTENTES AL AGUA, POR LO CUAL SON MÁS APROPIADOS PARA EXTERIORES O DONDE PREVALEZCA UN AMBIENTE HÚMEDO. ESTAS EMULSIONES SE AGREGAN AL CONCRETO ENTRE UN 5 A UN 20% CON RELACION

CIÓN AL PESO DEL CEMENTO, PERO DEPENDE DEL TIPO DE MEZCLA QUE SE TRATA DE ADHERIR Y DEL TIPO DE TRABAJO DE QUE SE TRATE.

A.7) ANTICORROSIVOS.

A.7.1) ANTICORROSIVOS DEL CONCRETO.- PARA DAR RESISTENCIA AL CONCRETO CONTRA LA ACCIÓN DE LOS AGENTES DISOLVENTES COMO EL AGUA PURA, SE LE PUEDE DAR UN TRATAMIENTO CON VAPOR A PRESIÓN, PERO ESTO SÓLO ES APLICABLE A ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS. LOS HIDROSILICATOS POBRES DE CAL QUE SE FORMAN EN PRESENCIA DE ARENA DE CUARZO MOLIDA FINAMENTE Y DURANTE EL TRATAMIENTO CON VAPOR A PRESIÓN DAN RESISTENCIA AL CONCRETO ENDURECIDO CONTRA EL AGUA PURA Y LOS ÁCIDOS DÉBILES; ÉSTO NO SE PODRÍA LOGRAR CON NINGÚN OTRO ADITIVO.-- EN ALGUNAS OBRAS MARÍTIMAS DONDE EL CONCRETO ESTA COMPLETAMENTE EXPUESTO A LA CORROSIÓN POR LAS AGUAS SALADAS SE LLEVA A CABO LA COMBINACIÓN DE: CEMENTO APROPIADO, INCLUSOR DE AIRE, REPELENTES O DISPERSANTES Y AGREGADOS INERTES; PRODUCIENDO ASÍ CONCRETOS MUY RESISTENTES A LA CORROSIÓN.

EXISTEN ALGUNOS ADITIVOS QUE IMPIDEN LA REACCIÓN DE LOS AGREGADOS CON LOS ÁLCALIS DEL CEMENTO, COMO LAS SALES DE LITIO QUE SE ADICIONAN EN PROPORCIÓN DEL 1% DEL PESO DEL CEMENTO, SALES DE BARIO QUE SE ADICIONAN EN PROPORCIÓN DEL 1 AL 7% DEL PESO DEL CEMENTO, ALGUNAS PROTEÍNAS INCLUSORAS DE AIRE, ALGUNOS REDUCTORES DE AGUA, ALGUNAS PUZOLANAS Y ALGUNOS RETARDANTES DE FRAGUADO. TODOS ESTOS ADITIVOS IMPIDEN O CONTRARESTAN LA EXPANSIÓN DE LOS AGREGADOS QUÍMICAMENTE ACTIVOS AL REACCIONAR CON LOS COMPONENTES ALCALINOS DEL CEMENTO.

A.7.2) ANTICORROSIVOS DEL ACERO.- EN LA MAYORÍA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO SE TIENE EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO, YA SEA POR EL AGUA QUE SE INFILTRA POR CAPILARIDAD O POR LA AIREACIÓN QUE SUFRE EL ACERO EN LAS OBRAS MARÍTIMAS AL SUBIR Y BAJAR LA MAREA. EN CUALESQUIERA DE LOS CASOS SE ACONSEJA UTILIZAR BENZOATO DE SODIO AL 2% EN SOLUCIÓN EN EL AGUA DE COLADO O BIEN EN UNA LECHADA DE CEMENTO Y AGUA AL 10% COMO PINTURA DEL ACERO, CON LA VENTAJA DE QUE NO SE REDUCE LA ADHERENCIA DEL CONCRETO Y ASÍ SE EVITA LA OXIDACIÓN.

A.8) COLORANTES

EN ESTE INCISO SE PUEDE MENCIONAR QUE LOS ADITIVOS COLORANTES NO MODIFICAN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN NINGUNO DE SUS ASPECTOS Y MERAMENTE FUNCIONAN COMO COLORANTES. ÉSTOS ESTÁN HECHOS A BASE DE ÓXIDOS Y DEPENDIENDO DE SUS COMPUESTOS DAN LUGAR A COLORES DIFERENTES. ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE LOS COLORANTES SOLO SON UTILIZADOS PARA DAR UN ACABADO A UNA SUPERFICIE DE CONCRETO, MOTIVO POR EL CUAL DEBERÁN CUMPLIR CON LAS PROPIEDADES DE NO DECOLORARSE CON EL MEDIO AMBIENTE DONDE ÉSTE SE HAYA UTILIZADO, QUE SEA ESTABLE CON LOS ÁLCALIS DEL CEMENTO Y QUE NO TENGA EFECTOS NEGATIVOS EN LAS PROPIEDADES NATURALES DEL CONCRETO.

NOTA: EN LOS ANEXOS DE ESTA TESIS SE INCLUYE LA TABLA V.3 EN LA CUAL SE ENCUENTRAN LOS NOMBRES COMERCIALES DE ALGUNOS ADITIVOS.

B) AGREGADOS ESPECIALES

LOS AGREGADOS SON EL MATERIAL QUE LE DAN CUERPO Y PESO A UN CONCRETO, POR TAL RAZÓN SI VARIAMOS EL TIPO DE AGREGADO DESDE EL PUNTO DE VISTA - DE SU PESO ESPECÍFICO, TAMBIÉN VARIAREMOS EL PESO ESPECÍFICO DEL CONCRETO - RESULTANTE; ESTA VARIACIÓN PUEDE HACER AL CONCRETO MÁS PESADO, MÁS LIGERO O DE CONDICIONES ESPECIALES SEGÚN SE REQUIERA. A CONTINUACIÓN DESCRIBIREMOS - BREVEMENTE LOS TRES TIPOS DE CONCRETO QUE RESULTAN AL VARIAR LOS AGREGADOS:

B.1) CONCRETOS PESADOS.- AUNQUE GRAN PARTE DEL CONCRETO EMPLEADO EN PROTECCIONES CONTRA LA RADIACIÓN ES DE PESO NORMAL, EL EMPLEO DE CONCRETO PESADO ES NECESARIO CUANDO EL ESPESOR DEL ESCUDO SE RIGE POR EL ESPACIO DISPONIBLE; CON EL FIN DE ELEVAR EL PESO DEL CONCRETO PUEDE REEMPLAZARSE PARTE O TODO DEL AGREGADO NORMAL POR AGREGADO DE DENSIDAD RELATIVA MUCHO MAYOR, NORMALMENTE DE MÁS DE 4.0 (LA DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO NORMAL ES DE 2.6). ÉSTOS AGREGADOS PESADOS PUEDEN SER NATURALES O ARTIFICIALES; UNO DE LOS AGREGADOS NATURALES MÁS USUALES PARA ESTE FIN ES LA BARITA O SULFATO DE BARIO, ÉSTE TIENE UNA DENSIDAD RELATIVA DE 4.1 Y SE ENCUENTRA EN FORMA DE ROCA CON UNA PUREZA DEL 95% APROXIMADAMENTE. LA BARITA SE COMPORTA DE MANERA MUY SIMILAR AL AGREGADO NORMAL TRITURADO Y NO PRESENTA NINGÚN PROBLEMA ESPECIAL EN CUANTO SE REFIERE A LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS; SIN EMBARGO, LA BARITA TIENDE A ROMPERSE Y HACERSE POLVO POR LO QUE DEBERÁ TENERSE CUIDADO EN SU MANEJO Y PROCESAMIENTO EVITANDO EL MEZCLADO EXCESIVO. ES CONVENIENTE HACER PRUEBAS DE LOS BANCOS ANTES DE UTILIZARLOS, PUESTO QUE ALGUNOS AGREGADOS DE BARITA FINA DEMORAN EL FRAGUADO, DEMORAN EL ENDURECIMIENTO Y AUMENTAN EL CONSUMO DE CEMENTO. EL CONCRETO DE BARITA NO SOPORTA BIEN LA INTEMPERIE, PERO PARA LA MAYORÍA DE LAS APLICACIONES DEL CONCRETO PESADO ESTA PROPIEDAD

ES DE POCA IMPORTANCIA. OTROS TIPOS DE AGREGADO PESADO NATURAL QUE SE HA EMPLEADO SON LOS MINERALES DE HIERRO, TALES COMO LA MAGNETITA, LIMONITA, HEMATITA, GEOTITA, ASÍ COMO LA ILMENITA QUE HA SIDO UTILIZADA COMO AGREGADO FINO. POR LO GENERAL EL MINERAL DE FIERRO TIENDE A PULVERIZARSE Y TIENE ELEVADA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN, PERO SIEMPRE QUE EL MINERAL SEA ESTABLE PUEDEN HACERSE CONCRETOS SATISFACTORIOS CON DENSIDADES ENTRE 3,000 Y 3,900 KILOGRAMOS POR METRO CÚBICO.

TAMBIÉN SE EMPLEAN AGREGADOS PESADOS ARTIFICIALES, PRINCIPALMENTE EL ACERO, EL FERROFÓSFORO Y EN ALGUNAS OCASIONES EL PLOMO. LA MUNICIÓN DE ACEROS HACE CONCRETOS CON DENSIDAD RELATIVA HASTA DE 5,500, PERO ESTE TIPO DE AGREGADO ES APROXIMADAMENTE SEIS VECES MÁS COSTOSO QUE LOS AGREGADOS PESADOS NATURALES, ADEMÁS PRESENTA LA DESVENTAJA DE QUE ES FÁCIL SU SEGREGACIÓN DEBIDO A LA DIFERENCIA TAN GRANDE QUE EXISTE ENTRE LAS DENSIDADES DE ESTE AGREGADO Y LA DE LA ARENA QUE SE UTILIZA COMO AGREGADO FINO.

NO DEBE OLVIDARSE QUE ADEMÁS DE SUS FUNCIONES RELACIONADAS CON LA RADIACIÓN Y LA ATENUACIÓN DE NEUTRONES, EL CONCRETO EMPLEADO EN PROTECCIONES DEBE POSEER TAMBIÉN BUENAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES EN CONDICIONES DE OPERACIÓN A TEMPERATURAS ELEVADAS; ENTRE ESTAS PROPIEDADES SE INCLUYEN: COMPORTAMIENTO SATISFACTORIO CON RESPECTO A LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA, CONTRACCIÓN, EXPANSIÓN TÉRMICA Y FLUENCIA. DADO QUE PUEDE NO DISPONERSE DE INFORMACIÓN TÉCNICA SUFICIENTE SOBRE LOS PUNTOS ANTERIORES, EN MUCHOS CASOS PRÁCTICOS DONDE EL ESPACIO NO ES UNA LIMITANTE CRÍTICA, DEBE CONSIDERARSE LA ALTERNATIVA DE UN ESCUDO GRUESO HECHOS CON AGREGADOS NORMALES.

B.2) CONCRETOS LIGEROS.- CUANDO SE REQUIERA UN CONCRETO QUE SEA BAJO DE PESO VOLUMÉTRICO, COMO SE EXPUSO EN EL INCISO ANTERIOR, SE TENDRÁ QUE USAR UN AGREGADO LIGERO DE PESO PARA PODER LOGRARLO. A CONTINUACIÓN DESCRIBIREMOS - ALGUNOS DE LOS AGREGADOS LIGEROS MÁS IMPORTANTES:

ESCORIA DE HULLA DE LOS HORNOS.- SE PUEDE DECIR QUE LA ESCORIA DE HULLA SON RESIDUOS BIEN QUEMADOS DE HORNOS QUE HAN SIDO FUNDIDOS O SINTERIZADOS (CONGLOMERADOS METÁLICOS QUE NO ALCANZAN LA TEMPERATURA DE FUSIÓN) PARA FORMAR GRAVILLAS. ESTA DEFINICIÓN TIENE COMO OBJETIVO EXCLUIR A LAS CENIZAS DE CARBÓN MINERAL PROVENIENTES DE INSTALACIONES DOMÉSTICAS EN VISTA DE QUE ÉSTAS NO HAN SIDO CALENTADAS A TEMPERATURAS SUFICIENTEMENTE ALTAS, POR TAL MOTIVO SON DEMASIADO SUAVES Y FINAS, LAS CUALES NO PODRÍAN SER UTILIZADAS COMO AGREGADOS. ASÍ PUES SE PUEDE CONCLUIR QUE SÓLO SE PODRÁN UTILIZAR AQUELLAS CENIZAS QUE ALCANCEN TEMPERATURAS DE APROXIMADAMENTE 1,400°C DE CALENTAMIENTO, ESTE AGREGADO ESTÁ INTEGRADO POR VARIOS COMPONENTES QUÍMICOS ASÍ COMO DE MATERIA COMBUSTIBLE LA CUAL DESAPARECERÍA SI SE SOMETIERAN A IGNICIÓN; - POR ESTA RAZÓN LAS CENIZAS QUE SE PIENSEN UTILIZAR COMO AGREGADOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN CONCRETO LIGERO SE SOMETERÁN A PRUEBAS DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN LA CUAL NO DEBERÁ REBASAR POR NINGÚN MOTIVO EL 25% DE PÉRDIDA EN RELACIÓN DE VOLÚMENES. EL PESO ESPECÍFICO OBTENIDO CON ESTE TIPO DE AGREGADOS ES APROXIMADAMENTE 1,520 KILOGRAMOS POR METRO CÚBICO Y LA RESISTENCIA OBTENIDA SE DISMINUIRÁ PROPORCIONALMENTE AL PESO DE LOS AGREGADOS.

ESCORIA ESPUMOSA DE ALTO HORNO.- EN LA OPERACIÓN DE UN ALTO HORNO, EL MINERAL DE ÓXIDO DE HIERRO ES REDUCIDO A HIERRO METÁLICO POR MEDIO DEL COQUE (RESIDUO DE LA CALCINACIÓN DE LA HULLA), MIENTRAS QUE LOS COMPONENTES DE SÍLICA Y ALUMINIO SE COMBINAN CON LA CAL INCLUIDA EN LA CARGA DEL HORNO PARA FORMAR UNA ESCORIA DERRETIDA QUE SE DEPOSITA SOBRE EL HIERRO FUNDIDO; LAS ESCORIAS SALEN DEL ALTO HORNO EN FORMA DE CORRIENTE DERRETIDA A 1,600°C; SI ÉSTA SE DEJA ENFRIAR LENTAMENTE SE SOLIDIFICA COMO PIEDRA DE COLOR GRIS Y CRISTALINA CONOCIDA COMO "ESCORIA ENFRIADA AL AIRE" Y ES UTILIZADA COMO AGREGADO PESADO EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETOS ESPECIALES, EN CAMBIO SI SE ENFRÍA A BASE DE AGUA (EN EXCESO) SE FORMA UNA ESCORIA GRANULADA DEL TIPO PIEDRA PÓMEZ, DEBIDO AL VAPOR QUE QUEDA ATRAPADO AL ENFRIARSE BRUSCAMENTE. ÉSTE TIPO DE ESCORIA SE AGLUTINA EN GRANDES MASAS Y TIENE QUE SER TRITURADO Y CRIBADO PARA UTILIZARSE ADECUADAMENTE, SU PESO ESPECÍFICO VARÍA DESDE LOS 320 HASTA LOS 560 KILOGRAMOS POR METRO CÚBICO PRODUCIENDO CONCRETOS CON PESO ESPECÍFICO QUE VARÍA DESDE 960 HASTA 1,760 KILOGRAMOS POR METRO CÚBICO, Y AL CONTRARIO DE LA CENIZA DE HULLA TIENDE A AUMENTAR LA RESISTENCIA FINAL DEL CONCRETO.

POMEZ Y ESCORIAS VOLCANICAS.- ESTAS SON ROCAS COMUNES DE ORIGEN VOLCÁNICO - QUE EXISTEN EN MUCHAS PARTES DEL MUNDO Y QUE SON LO SUFICIENTEMENTE FUERTES PARA DAR RESISTENCIA AL CONCRETO Y A SU VEZ LIGERAS PARA REDUCIR EL PESO ESPECÍFICO DEL CONCRETO. LA LIGEREZA NATURAL DE ESTE TIPO DE ROCAS ES DEBIDO AL HECHO DE SER ROCAS ÍGNEAS ESPONJOSAS, CUYAS OQUEDADES O POROS SE FORMARON POR LOS GASES QUE ESCAPABAN CUANDO SE ENCONTRABAN AÚN EN ESTADO LÍQUIDO (DERRETIDO), NÓTESE LA SIMILITUD QUE EXISTE ENTRE LA ESCORIA DE ALTO HORNO

(ESPUMOSO) AL PRODUCIRLA Y AL PROCESO EN QUE SE ORIGINARON ÉSTAS. CABE ACLARAR QUE EL PÓMEZ ES EL AGREGADO DE PESO LIGERO MÁS ANTIGUO QUE SE CONOCE, YA QUE DESDE 100 AÑOS A.C. ERA FRECUENTEMENTE USADO EN LOS TECHOS Y MUROS DE LOS EDIFICIOS ROMANOS, BAÑOS Y TEMPLOS NOTABLES DE LOS CUALES EL MEJOR EJEMPLO QUE AÚN PERDURA ES EL "PANTEÓN EN ROMA", EN DONDE SE UTILIZÓ CONCRETO DE PÓMEZ EN LA CÚPULA. EL CONCRETO PRODUCIDO CON ESTE TIPO DE AGREGADO LLEGA A TENER PESOS ESPECÍFICOS DEL ORDEN DE 650 HASTA 770 KILOGRAMOS POR METRO CÚBICO Y NO TIENDE A MODIFICAR SU RESISTENCIA.

LA APLICACIÓN DE LOS CONCRETOS LIGEROS BÁSICAMENTE ES EN BLOCK PARA MUROS, TABIQUE ALIGERADO (TABICÓN), RELLENOS EN ZONAS DONDE NO SE REQUIERA MUCHO PESO Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN GENERAL.

B.3) CONCRETOS ESPECIALES.- APARTE DE LOS CONCRETOS PESADOS Y LIGEROS EXISTEN OTROS QUE PUEDEN FABRICARSE ADICIONANDO DETERMINADOS MATERIALES O SUSTANCIAS QUE NO SEAN ADITIVOS, QUE LOS PUEDEN HACER PROPIAMENTE ESPECIALES; MOTIVO POR EL CUAL LO VEREMOS EN ESTE CAPÍTULO AUNQUE NO ESTÉN CONSIDERADOS COMO AGREGADOS. ALGUNOS DE LOS MÁS IMPORTANTES SON LOS SIGUIENTES: EL PRIMERO DE ELLOS ES EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS, EL CUAL ESTA COMPUESTO POR PASTA DE CEMENTO, MORTERO O CONCRETO NORMAL Y FIBRAS DE ASBESTO, VIDRIO, PLÁSTICO, CARBÓN O ACERO. NORMALMENTE ESTE CONCRETO SE UTILIZA CUANDO HAY NECESIDAD DE ABSORBER ENERGÍA DISIPADA POR UNA DE LAS CARAS DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL (PROTECCIÓN PARA EXPLOSIVOS), PUES LAS FIBRAS RESISTEN LA TENSIÓN DEL CONCRETO Y SE EVITAN AGRIETAMIENTOS. TAMBIÉN SE UTILIZAN ESTE TIPO DE FIBRAS CUANDO EL ACERO DE REFUERZO ES IMPOSIBLE COLOCARLO DEBIDO A LA FORMA

DEL ELEMENTO DE QUE SE TRATE O CUANDO UN CONCRETO VAYA A ESTAR EXPUESTO A CONTINUOS IMPACTOS, PUES LA FIBRA LE AYUDARÁ A EVITAR SU DETERIORO.

LA SEGUNDA VARIEDAD PUEDE LLAMARSE AMPLIAMENTE COMO CONCRETO POLÍMERO, EL CUAL ES UN MATERIAL EN EL QUE EL AGREGADO ESTA AGLOMERADO MEDIANTE UNA RESINA SINTÉTICA EN VEZ DEL CEMENTO HIDRÁULICO. LAS RESINAS EPÓXICAS SON LOS ADHERENTES MÁS COMUNES, PERO TAMBIEN SE EMPLEAN RESINAS DE POLIESTER E INCLUSO LAS FENÓLICAS. LOS ADHERENTES CONSISTEN ESTRICTAMENTE EN UNA RESINA Y EN UN ENDURECEDOR QUE INTERACTÚA RÁPIDAMENTE CON LA RESINA PARA ENDURECER LA MEZCLA. LAS RESINAS EPÓXICAS SON DE FRAGUADO TÉRMICO, PERO NO SON ADECUADAS PARA LA EXPOSICIÓN AL FUEGO. LAS PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS CONCRETOS EPÓXICOS SON: ELEVADA RESISTENCIA QUE SE DESARROLLA CON RAPIDEZ, ESTABILIDAD DIMENSIONAL, DUREZA, EXCELENTE ADHERENCIA A UNA GRAN VARIEDAD DE MATERIALES, ELEVADA RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO DE MUCHOS ÁCIDOS, ÁLCALIS Y SOLVENTES, ASÍ COMO AL INTemperISMO Y A LA ABRASIÓN, ADEMÁS DE TENER BUENAS PROPIEDADES DE AISLAMIENTO TERMICO Y ELÉCTRICO; POR LO TANTO, EL CONCRETO EPÓXICO SE EMPLEA PRINCIPALMENTE EN LAS REPARACIONES DE CONCRETO NORMAL, EN EL ALARGAMIENTO DE PILOTES, EN LA ADHESIÓN ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, EN LA PROTECCIÓN DE SUPERFICIES, ETC. EXISTE TAMBIÉN LA POSIBILIDAD DE EMPLEAR ELEMENTOS REFORZADOS COMPUESTOS, HECHOS DE CONCRETO NORMAL Y CONCRETO EPÓXICO EN LA ZONA DE TENSIÓN PARA LOGRAR MAYOR RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y PROTECCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

C) PUZOLANAS

GENERALIDADES.- EL DETERIORO QUE SUFRE EL CONCRETO EN ALGUNOS CASOS, PUEDE SER DEBIDO POR UN LADO A CAUSAS EXTERNAS TALES COMO EL MEDIO EN QUE SE ENCUENTRE, CONDICIONES ATMOSFÉRICAS O DE TRABAJO. EN TODOS ESTOS CASOS LA DURABILIDAD DEL CONCRETO DEPENDERÁ DE SU CALIDAD. POR OTRO LADO TENEMOS LAS CAUSAS INTERNAS ENTRE LAS QUE DESTACAN LAS REACCIONES PERJUDICIALES QUE TIENEN ORIGEN ENTRE LOS MISMOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN EL CONCRETO.

EL EFECTO DE LA PUZOLANA EN EL CONCRETO, ES HACERLO MAS COMPACTO Y ASÍ CONTRIBUIR A UNA MAYOR DURABILIDAD DE ÉSTE EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES, ENTENDIÉNDOSE POR DURABILIDAD AL CONJUNTO DE CUALIDADES QUE LE PERMITEN POSEER AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL PREVISTA, UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD - ACEPTABLE.

SE HA ACEPTADO QUE EN LAS REACCIONES DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO EN CADA UNO DE SUS COMPONENTES PRINCIPALES NOS DÁ COMO RESULTADO LO MOSTRADO EN LA TABLA No. V.2.

GENERALMENTE EN LAS PASTAS DE CEMENTO EL HIDRÓXIDO DE CALCIO O PORTLANDITA QUE ES PRODUCIDO POR HIDRÓLISIS, REACCIONA INMEDIATAMENTE CON CO_2 PARA PRODUCIR CaCO_3 , EL CUAL SE DEPOSITA EN LOS POROS DESPUES DEL ENDURECIMIENTO DE LA PASTA, EL CaCO_3 ES UN PUNTO VULNERABLE PARA QUE EL CONCRETO SEA SUSCEPTIBLE AL ATAQUE POR AGENTES QUÍMICOS EXTERNOS. LO CONVENIENTE ES REDUCIR LO MÁS POSIBLE EN LOS CEMENTOS HIDRATADOS LA PROPORCIÓN DE PORTLANDITA, LA CUAL SIN APORTAR NADA EN EL ASPECTO DE LAS RESISTENCIAS, CREA DIFICULTADES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA DURABILIDAD; PERO PARA QUE ESTO SEA EFI--

TABLA V. 2 (REACCIONES DE HIDRATACION) CEMENTO PORTLAND

$2(3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$	+	$6\text{H}_2\text{O}$	=	$3(\text{CaO})_2(\text{SiO}_2)_3(\text{H}_2\text{O})$	+	$3\text{Ca}(\text{OH})_2$
Silicato tricálcico		Agua		Tobermorita		Portlandita
$2(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$	+	$4\text{H}_2\text{O}$	=	$3(\text{CaO})_2(\text{SiO})_3(\text{H}_2\text{O})$	+	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Silicato dicálcico		Agua		Tobermorita		Portlandita
$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	+	$10\text{H}_2\text{O}$	+	$2\text{Ca}(\text{OH})_2$	=	$6\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Ferroaluminato tetracálcico		Agua		Portlandita		Hidrato de ferroaluminato cálcico
$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	+	$12\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	=	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{OH})_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Aluminato tricálcico		Agua		Portlandita		Hidrato de Aluminato tetracálcico

CÁZ, SE DEBE DE CONSEGUIR SIN REDUCIR LOS CONTENIDOS DE SILICATOS EN EL CLINKER; SI UNA PUZOLANA ES AGREGADA AL CEMENTO, ENTONCES LA PORTLANDITA - RECIÉN LIBERADA REACCIONARÁ CON LA SÍLICE ACTIVA DE LA PUZOLANA, FORMANDO UN GEL DE SÍLICE ESTABLE, LA CUAL PROPORCIONARÁ UNA CAPA PROTECTORA, PREVI NIENDO LA HIDRÓLISIS POSTERIOR AL CaO EN EL CEMENTO, MEJORANDO LA CALIDAD DEL CONCRETO.

COMO CONSECUENCIA DE LA ACCIÓN DE LAS PUZOLANAS EN EL CEMENTO, SE VEN MODIFICADAS MUCHAS DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO ENTRE - LAS QUE SE ENCUENTRAN LAS SIGUIENTES:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	A TEMPRANAS EDADES, DISMINUÍDA A EDADES POSTERIORES, AUMENTADA
PERMEABILIDAD	DISMINUÍDA
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	IGUAL O AUMENTADA
RESISTENCIA A LOS SULFATOS	AUMENTADA
RESISTENCIA A LA REACCIÓN ÁLCALI - AGREGADO	AUMENTADA
PROTECCIÓN A LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO	AUMENTADA
CONTRACCIÓN POR SECADO	AUMENTADA

ASÍ PUES, SE ANALIZA CADA UNA DE LAS PROPIEDADES MODIFICADAS POR EL USO DE CEMENTOS PORTLAND PUZOLÁNICOS.

RESISTENCIA A LA COMPRESION.- SE HA ENCONTRADO QUE LA ADICIÓN DE PUZOLANA -
REDUCE LA RESISTENCIA A EDADES TEMPRANAS DEL CONCRETO, PERO A EDADES POSTE-
RIORES ES INCREMENTADA DE TAL MANERA QUE LLEGA A SER SUPERIOR A LA DE LOS
CONCRETOS HECHOS CON CEMENTOS PORTLAND NORMAL, ESTO ES DEBIDO A QUE LA DIS-
TANCIA ENTRE LAS PARTÍCULAS DEL CEMENTO SE INCREMENTA; ADEMÁS LA REACCIÓN
ENTRE LA PUZOLANA Y LA CAL LIBERADA DURANTE LA HIDRATACIÓN ES LENTA Y DE -
LARGA DURACIÓN. LA CONTRIBUCIÓN QUE ESTA REACCIÓN HACE A LA ADQUISICIÓN DE
RESISTENCIA DEL CONCRETO TAMBIÉN ES LENTA, PERO TODO ESTO DEPENDE DE DIVER-
SOS FACTORES TALES COMO CONDICIONES DE CURADO, PORCENTAJE DE PUZOLANA, DI-
SEÑO DE LA MEZCLA, RELACIÓN AGUA-CEMENTO, FINURA DEL CEMENTO, ETC. TAMBIÉN
CABE ACLARAR QUE LOS CONCRETOS PUZOLÁNICOS SON FUERTEMENTE INFLUENCIADOS -
POR LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA, PUES A TEMPERATURAS ALTAS SE
INCREMENTA EL GRADO DE REACCIÓN DE LA PUZOLANA CON EL CEMENTO.

TAMBIÉN SE HA ENCONTRADO QUE LAS PUZOLANAS SON MAS REACTIVAS CUAN-
DO SON MOLIDAS A MAYOR FINURA, POR LO TANTO SE INCREMENTA LA RESISTENCIA, -
PERO DESPUES DE CIERTO LÍMITE DE FINURA, LA PUZOLANA IMPARTE EFECTOS ADVER--
SOS AL CEMENTO POR INCREMENTO DEL REQUERIMIENTO DE AGUA; DISMINUYENDO ASÍ -
LA RESISTENCIA. ADEMÁS, SI LAS PUZOLANAS SON MOLIDAS A UNA FINURA EXTREMA,
LA MAYORÍA DE LAS PARTÍCULAS DE LA PUZOLANA PERMANECERÁ EN ESTADO COLOIDAL
LO QUE PUEDE HACER QUE CAMBIEN LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN, AFECTANDO LAS -
PROPIEDADES DEL CEMENTO.

EN LA FIG. NO. V.2 SE MUESTRAN LAS DIFERENCIAS TANTO DE RESISTENCIA
INICIAL COMO DE RESISTENCIA FINAL DE UN CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO NOR-
MAL O PUZOLÁNICO.

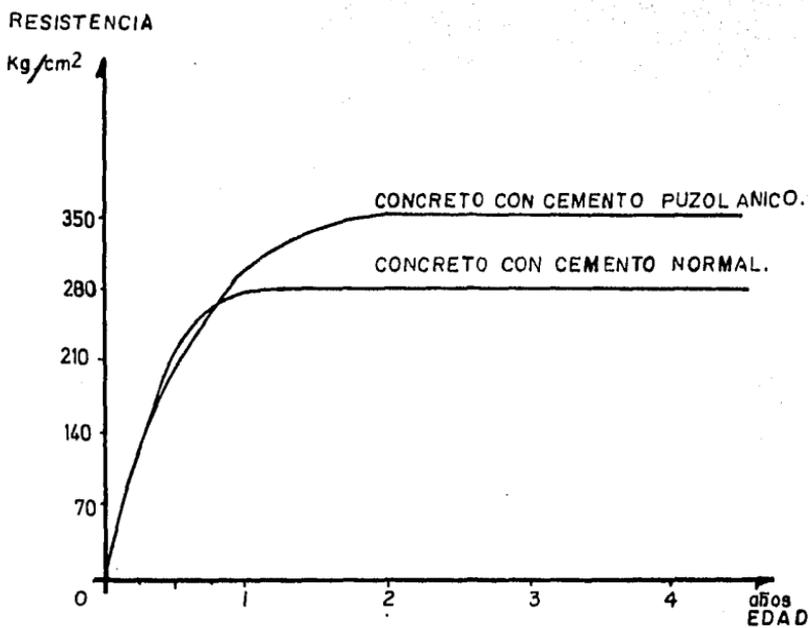


FIG. Nº V. 2

RESISTENCIA A LA TENSIÓN.- SE HAN REPORTADO MEJORES RESISTENCIAS A LA TENSIÓN AL UTILIZAR CEMENTOS PUZOLÁNICOS QUE CON CEMENTOS NORMALES, ASÍ MISMO SE HA ENCONTRADO UNA RESISTENCIA MEJOR PARA FLUIR PLÁSTICAMENTE BAJO LOS EFECTOS DE UNA CARGA CONSTANTE CEDIENDO CON MAYOR AMPLITUD Y AJUSTÁNDOSE MAS RAPIDAMENTE A ESFUERZOS MAYORES ANTES DE QUE OCURRA LA RUPTURA.

PERMEABILIDAD.- LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ES UNA MEDIDA DEL GRADO AL CUAL UN LÍQUIDO PASA A TRAVÉS DEL CONCRETO, ESTO DEPENDE DE FACTORES COMO EL TAMAÑO DE LOS AGREGADOS, DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑO DE LOS POROS, RELACIÓN AGUA-CEMENTO, EDAD DEL CONCRETO Y CONDICIONES DE CURADO.

DESPUÉS DE QUE EL CONCRETO HA FRAGUADO, EL ÓXIDO DE CALCIO LIBRE PRESENTE EN LA FORMA DE HIDRÓXIDO DE CALCIO ES SUSCEPTIBLE AL LIXIVIARSE, YA QUE, NO ESTÁ FORMANDO NINGÚN CONCRETO ESTABLE; LOS HUECOS DEJADOS POR ESTA LIXIVIACIÓN INCREMENTAN EL TAMAÑO DE LOS POROS Y LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, INCREMENTANDO SU VULNERABILIDAD A LA CORROSIÓN. DADO QUE LA PUZOLANA SE VA A COMBINAR CON EL HIDRÓXIDO DE CALCIO PARA FORMAR COMPUESTOS INSOLUBLES, SE REDUCIRÁ NOTABLEMENTE LA PERMEABILIDAD.

RESISTENCIA A LOS SULFATOS.- UNA DE LAS IMPORTANTES RAZONES DEL USO DE CEMENTOS PUZOLÁNICOS HA SIDO EL INCREMENTO EN RESISTENCIA QUE OFRECEN AL ATAQUE DE AGENTES QUÍMICOS Y PARTICULARMENTE AL AGUA DE MAR. EL INCREMENTO EN RESISTENCIA AL ATAQUE DE LOS SULFATOS Y AL AGUA DE MAR, OBTENIDO POR EL USO DE CEMENTO PUZOLÁNICO ES ATRIBUIBLE EN PARTE A QUE SE REMUEVE EL $\text{Ca}(\text{OH})_2$ LIBRE FORMADO EN LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO, POR COMBINACIÓN CON LA PUZOLANA.- OTRA CAUSA DE DESINTEGRACIÓN DEL CONCRETO ES LA EXPANSIÓN QUE ACOMPAÑA A LA REACCIÓN DE LOS COMPUESTOS DE ALÚMINA EN EL CEMENTO FRAGUADO CON SOLUCIONES

DE SULFATOS PARA FORMAR LA ESTRINGITA $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

LA FORMACIÓN DE ESTRINGITA NO SOLO SE DEBE A LA PRESENCIA DEL ALUMINATO TRICÁLCICO DEL CEMENTO, SINO QUE PUEDE DEBERSE A LOS AGREGADOS EN LOS CUALES SE LLEGUE A ENCONTRAR "CAOLÍN" O BIEN "FELDESPATOS" INTEMPERIZADOS, QUE PROPORCIONAN ALÚMINA ACTIVA. LA FORMACIÓN DE LA ESTRINGITA SE DESARROLLA EN UN MEDIO SATURADO DE HIDRÓXIDO DE CALCIO, CON UN pH ALTO; POR LO TANTO LA PUZOLANA REDUCE EL CONTENIDO DE HIDRÓXIDO DE CALCIO Y POR LA MISMA RAZÓN LA CONCENTRACIÓN DE ÉSTE HIDRÓXIDO ES MUCHO MENOR, Y ASÍ SERÁ MENOR LA FORMACIÓN DE ESTRINGITA EN PRESENCIA DE PUZOLANA.

EN LOS CONCRETOS HECHOS CON CEMENTO PORTLAND NORMAL, AL CONTACTO CON SOLUCIONES DE SULFATOS, LA PRECIPITACIÓN DE LA ESTRINGITA ES RÁPIDA, MIENTRAS QUE EN LOS CONCRETOS HECHOS CON CEMENTO PUZOLÁNICOS LA ABSORCIÓN Y FINALMENTE LA CRISTALIZACIÓN ES MÁS TARDADA. LA ESTRINGITA SE ENCONTRARÁ SOLAMENTE EN LOS PRODUCTOS DE LA REACCIÓN CON MATERIALES ALTAMENTE SILICOSOS, O BIEN SI EL SULFATO DE CALCIO SE ENCUENTRA PRESENTE EN SOLUCIONES SATURADAS ESTANCADAS, IMPREGNANDO TOTALMENTE EL CONCRETO. EN LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO CON PUZOLANAS, SI ÉSTA CONTIENE COMPUESTOS ALUMINOSOS ACTIVOS, HACE QUE SE REDUZCA LA RESISTENCIA A LA ACCIÓN DESTRUCTIVA DE LOS SULFATOS.

RESISTENCIA A LA REACCIÓN "ALCALI AGREGADO".- LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO PRODUCE DETERIORO EN EL CONCRETO. ÉSTA REACCIÓN ENTRE EL HIDRÓXIDO DE SODIO O DE POTASIO Y UNA FORMA REACTIVA DE SÍLICE CON EL AGREGADO, CAUSA LA FORMACIÓN DE UN GEL DE SÍLICE-ÁLCALI, EL CUAL ES CAPAZ DE EXPANDERSE DEBIDO A LA ABSORCIÓN DEL AGUA. LA REACCIÓN HA SIDO CONSIDERADA UNA NEUTRALIZACIÓN ACIDO-BASE.

EN LA TABLA V.3 SE PRESENTA UNA CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS REACTIVOS:

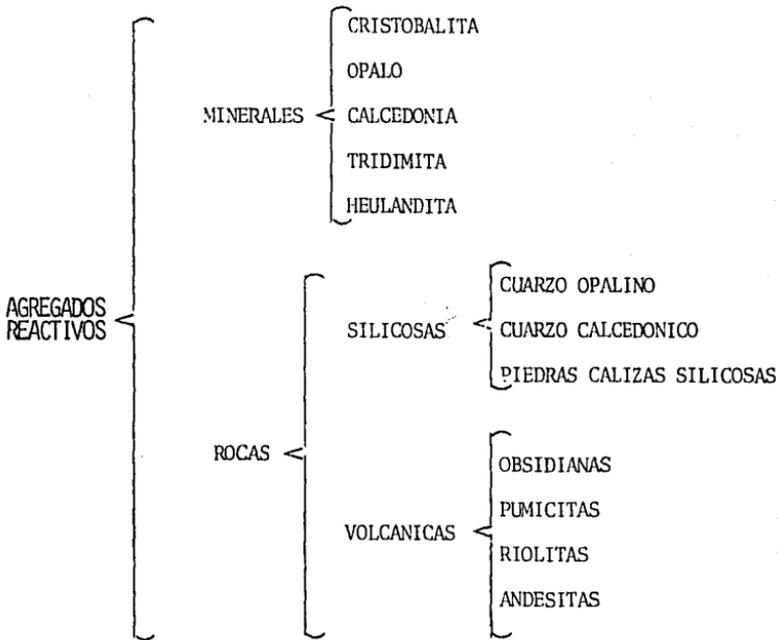


TABLA V.3 "CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS REACTIVOS"

EL DETERIORO ES PRIMERO CARACTERIZADO POR EXPANSIÓN SIN ROMPIMIENTO, POR LO TANTO CONFORME LA EXPANSIÓN PROGRESA, LA PRESIÓN DESARROLLADA EN EL GEL PUEDE EXCEDER LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL CONCRETO Y FRACTURAR LA SUPERFICIE DE ÉSTE.

LA PRESENCIA DE LOS MATERIALES REACTIVOS EN UN AGREGADO, NO SIEMPRE SIGNIFICA QUE EL AGREGADO TENGA CARACTERÍSTICAS DAÑINAS, POR LO TANTO - PARA QUE LA REACCIÓN OCURRA ES NECESARIO UN ALTO CONTENIDO DE ÁLCALIS, UNA -

CANTIDAD CRÍTICA DE LOS CONSTITUYENTES REACTIVOS Y UN TAMAÑO ESPECÍFICO DE PARTÍCULAS EN EL AGREGADO.

LOS MATERIALES PULVERIZADOS SON ESPECIALMENTE REACTIVOS CON EL ÁL-CALI DEL CEMENTO Y SIN EMBARGO, LAS PUZOLANAS NO SOLAMENTE SON NOCIVAS A ES-TE RESPECTO, SINO QUE ATENUAN LA EXPANSIÓN DEBIDO A LA REACCIÓN ÁLCALI-AGRE-GADO; ESTE HECHO APARENTEMENTE CONTRADICTORIO NO LO ES, SI SE TIENE EN CUEN-TA LA NOCIVIDAD DE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO QUE SE DEBE AL HECHO DE QUE ÉSTA TRANSCURRE CON CARÁCTER TOPOQUÍMICO Y PRODUCE EXPANSIONES AISLADAS, IN-TENSAS Y MUY LOCALIZADAS, LO CUAL OCASIONA LA RUPTURA Y DESINTEGRACIÓN DEL CONCRETO.

DADO EL ALTO GRADO DE FINURA DE LAS PUZOLANAS Y SU ÍNTIMA Y HOMO-GÉNEA MEZCLA CON EL CLINKER EN LOS CEMENTOS PUZOLÁNICOS, LA REACCIÓN TRANS-CURRE EN ESTE CASO CON CARÁCTER DIFUSO Y LA EXPANSIÓN TIENE LUGAR EN FORMA HOMOGÉNEA, DISPERSA; POR LO TANTO MUY ATENUADA. ÉSTA EXPANSIÓN LIGERA, SUAVI-ZA POR ASÍ DECIRLO LOS EFECTOS DE LA REACCIÓN.

LOS BENEFICIOS DE LA PUZOLANA NO SOLO RESULTAN DE LA ACCIÓN PUZOLÁ-NICA, SINO TAMBIÉN POR EL REEMPLAZO DE PARTE DEL CONTENIDO DE CEMENTO QUE ES UNA FUENTE DE LOS ÁLCALIS. GENERALMENTE ESTE REEMPLAZO DEL 20 AL 30% DE CE-MENTO CON PUZOLANA EFECTIVAMENTE REDUCE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO. PARTE DE LA REDUCCIÓN DE LA EXPANSIÓN RESULTA DEL BAJO CONTENIDO DE CEMENTO.

PROTECCION A LA CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO.- LA FORMACIÓN DE GEL DE SÍLICE DEBIDO A LA PRESENCIA DE PUZOLANA, INCREMENTA LA IMPERMEABILIDAD DEL CONCRETO DISMINUYENDO LA PENETRACIÓN DE AGUA Y OXÍGENO, LOS CUALES SON LOS PRINCIPALES RESPONSABLES DE LA OXIDACIÓN O CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN LOS ELEMENTOS DE CONCRETO.

CONTRACCION POR SECADO.- ESTA CONTRACCIÓN SE DEBE AL MAYOR REQUERIMIENTO DE AGUA QUE RESULTA DE LA ELEVADA FINURA DEL MATERIAL PUZOLÁNICO, Y TAMBIÉN - POR LOS COMPUESTOS COLOIDALES QUE SE FORMAN POR LA REACCIÓN CAL-PUZOLANA, - LOS CUALES DESPUÉS DE PONERSE EN CONTACTO CON EL AGUA DEBEN SUFRIR MAYORES CONTRACCIONES AL SECARSE;PERO ESTE EFECTO PUEDE CONTRARRESTARSE CON UN BUEN CURADO. TAMBIÉN HAY QUE MENCIONAR QUE LOS CONCRETOS PUZOLÁNICOS SON MENOS - RESISTENTES AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO, PERO ESTO PUEDE EVITARSE CON ADITI VOS INCLUSORES DE AIRE. ADEMÁS, SON MAS SUSCEPTIBLES A LAS CONDICIONES DE - CURADO; REQUIEREN DE UN MAYOR PERÍODO DE "CURADO HÚMEDO" SI SE DESEAN BUE-- NOS RESULTADOS.

LAS PUZOLANAS DIFIEREN DE LA CAPACIDAD DE USO. ALGUNAS, SON MEJORES APROVECHADAS PARA PRODUCIR MAYOR CALOR DE HIDRATACIÓN MIENTRAS QUE OTRAS PA RA RESISTIR EL ATAQUE A LOS SULFATOS; Y AÚN OTRAS PARA AMINORAR LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO. SIN EMBARGO, EN TODOS LOS CASOS, CIERTAS PRECAUCIONES DE-- BEN SER TOMADAS DEBIDO A QUE LA PUZOLANA PUEDE AFECTAR ADVERSAMENTE ALGUNAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CONCRETOS. EN EL USO DE LAS PUZOLANAS ES NECE SARIO CONSIDERAR QUE PROPIEDADES DEL CONCRETO DEBERÁN DE MEJORARSE O CUAL - ES EL PROPÓSITO DEL USO DE ÉSTAS, Y ENTONCES PROCEDER A ENCONTRAR UNA QUE - PROPORCIONE TALES RESULTADOS.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

ESTE CAPÍTULO ES PARA RECALCAR LO IMPORTANTE QUE ES CONOCER DETALLADAMENTE CADA UNO DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO, ASÍ COMO SU OBTENCIÓN Y/O FABRICACIÓN, CON EL FIN DE TENER TODAS LAS ARMAS NECESARIAS PARA EL DISEÑO, ELABORACIÓN Y MANEJO DE UN CONCRETO SATISFACTORIO.

EN EL CAPÍTULO I, MOSTRAMOS LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EXPLICANDO SUS DOS ESTADOS PRINCIPALES: FRESCO Y ENDURECIDO, DESCRIBIENDO - ASÍ LAS PROPIEDADES QUE TIENEN CADA UNO DE ELLOS, ASIMISMO EN EL SIGUIENTE CAPÍTULO SE DIERON A CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DE UN CONCRETO NORMAL, HACIENDO ÉNFASIS EN LA PARTICIPACIÓN DE CADA UNO.

DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE TIENE EL CEMENTO COMO COMPONENTE DE UN CONCRETO, SE LE DEDICÓ EN EL CAPÍTULO III EXCLUSIVAMENTE, PARA EXPONER - DESDE LA ELECCIÓN DE MATERIA PRIMA PARA SU FABRICACIÓN, HASTA OBTENER EL - PRODUCTO TERMINADO, HACIENDO ÉNFASIS EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE ÉSTE.

EN EL CAPÍTULO IV VIMOS LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE SUCEDEN EN UN CONCRETO DEBIDO A LA INTERACCIÓN DE SUS COMPONENTES. PARA LLEGAR A EXPLICAR ESTA INTERACCIÓN FUÉ NECESARIO ENTRELAZAR LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN LOS CAPÍTULOS I, II Y III. ESTAS REACCIONES ESTÁN CLASIFICADAS EN DOS GRUPOS: - LAS DEL CONCRETO FRESCO Y LAS DEL CONCRETO ENDURECIDO.

POR ÚLTIMO EN EL CAPÍTULO V VIMOS LOS PRODUCTOS O COMPONENTES QUE SE INTEGRAN A UN CONCRETO CON LA FINALIDAD DE MODIFICAR SUS PROPIEDADES NATURALES DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL PROYECTISTA O DEL CONSTRUCTOR. ESTOS MODIFICADORES PUEDEN SER ADITIVOS, DETERMINADOS TIPOS DE AGREGADOS U OTROS FACTORES. CABE ACLARAR QUE CUALQUIER MODIFICACIÓN QUE SUFRA UN CONCRETO NORMAL CON EL USO DE ALGÚN MODIFICADOR, PUEDE SER PERFECTAMENTE CONTROLADO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE. TAMBIÉN ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE EL USO DE ADITIVOS Y ALGUNOS OTROS MODIFICADORES, TIENEN UN COSTO, LO CUAL DEBERÁ CONSIDERARSE AL MOMENTO DE DISEÑAR UN CONCRETO COMPARANDO EL COSTO EXTRA CON LAS VENTAJAS QUE PRESENTA AL MEJORAR SUS CARACTERÍSTICAS Y LOS POSIBLES AHORROS EN COSTO DEL MANEJO, EN DISMINUCIÓN DEL CEMENTO Y EN LA DURABILIDAD.

ANEXOS



NORMA OFICIAL MEXICANA
"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.- CE-
MENTO PORTLAND".

NOM
C-1-1980

"BUILDING INDUSTRY.- PORTLAND CEMENT"

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial establece las especificaciones que debe cumplir el Cemento Portland, utilizado en la Construcción. El Cemento Portland se emplea para la elaboración de: Concretos, morteros, lechadas, productos de asbesto-cemento y productos prefabricados de mortero y de concreto.

2 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta Norma es indispensable consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas en vigor.

- NOM-C-56 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Determinación de la Finura por el Método de Permeabilidad al Aire.
(Método de Prueba para Determinar la Finura de Cementantes Hidráulicos por el Método de Permeabilidad al Aire).
- NOM-C-59 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Determinación del tiempo de fraguado (Método de Vicat).
(Método de Prueba para Determinar el tiempo de fraguado de los Cementantes Hidráulicos (Método de Vicat)).
- NOM-C-61 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Determinación de la resistencia a la Compresión.
(Método de Prueba para Determinar la Resistencia a la Compresión de los Cementantes Hidráulicos).
- NOM-C-62 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Determinación de la Sanidad.
(Método de Prueba para Determinar la Sanidad de los Cementantes Hidráulicos).
- NOM-C-130 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Muestreo.
(Muestreo de Cementantes Hidráulicos).

Prohibida su reproducción sin autorización de la Dirección General de Normas

DGA-CUL-135-11-27

Referencias

La Comisión General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial aprobó la presente norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Resolución anexada

Cancela la NOM-C-1-1975, véase Apéndice A.2.

SEMI-DEN

- NOM-C-131 Industria de la Construcción.- Cemento Hidráulico.- Determinación del Análisis Químico. (Determinación del Análisis Químico del Cemento Hidráulico).
- NOM-C-132 Industria de la Construcción.- Cemento Portland.- Determinación del Fraguado Falso por el Método de Pasta. (Método de Prueba para la Determinación del Fraguado Falso del Cemento Portland por el Método de Pasta).
- NOM-C-133 Industria de la Construcción.- Cemento.- Coadyuvantes de molienda empleados en la elaboración de cementos hidráulicos.
- NOM-C-151 Industria de la Construcción.- Cementantes Hidráulicos.- Determinación del Calor de Hidratación. (Método de Prueba para la Determinación del Calor de Hidratación de los Cementantes Hidráulicos).

3 DEFINICION

Para los efectos de ésta Norma Oficial se establece la siguiente definición.

3.1 Cemento Portland

Es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan sulfato de calcio natural, o agua y sulfato de calcio natural. A criterio de productor pueden incorporarse además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto, de acuerdo con lo especificado en la NOM-C-133 en vigor.

3.1.2 Conglomerante Hidráulico

Es el material finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida.

3.1.3 Clinker

Es el mineral sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura del orden de 1673 K (1400°C), de materias primas de naturaleza calcarea y arcillo ferruginosa, previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas.- Esencialmente el clinker está constituido por silicatos, aluminato y aluminoferrito cálcicos.

1971-DGN

3.1.4 Sulfato de calcio natural

Es el sulfato cálcico dihidratado, hemihidratado o anhidro.

4 CLASIFICACION

4.1 Para los efectos de esta Norma, el Cemento Portland se clasifica en los cinco tipos siguientes.

- TIPO I.- COMUN.- Para uso general en construcciones de concreto cuando no se requieran las propiedades especiales de los tipos II, III, IV y V.
- TIPO II.- MODIFICADO.- Destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos o cuando se requiera un calor de hidratación moderado.
- TIPO III.- DE RAPIDA RESISTENCIA ALTA.- Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad.
- TIPO IV.- DE BAJO CALOR.- Cuando se requiera un reducido calor de hidratación.
- TIPO V.- DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS.- Cuando se requiera una alta resistencia a la acción de los sulfatos.

4.1.1 El Cemento Portland Blanco puede ser clasificado como Tipo I ó Tipo III según satisfaga los requerimientos de esta Norma para los tipos mencionados. Dado su bajo o nulo contenido de óxido férrico se caracteriza únicamente por ser blanco y no gris.

5 ESPECIFICACIONES

5.1 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.

5.1.1 Especificaciones Químicas.- El Cemento a que se refiere esta Norma debe satisfacer los requisitos químicos que se anotan en la Tabla No. 1, de acuerdo con su tipo:

DCM TABLA 1 Especificaciones químicas

COMPUESTOS Y CARACTERÍSTICAS	TIPO				
	I	II	III	IV	V
Oxido de silicio. (SiO_2). mín. %	-	21.0	-	-	-
Oxido de aluminio. (Al_2O_3) máx. %	-	6.0	-	-	-
Oxido férrico. (Fe_2O_3). máx. %	-	6.0	-	6.5	-
Oxido de magnesio. (MgO) máx. %	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Anhidro sulfúrico (SO_3). máx. % Cuando ($3CaO \cdot Al_2O_3$) es 8% o menor.	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
Cuando ($3CaO \cdot Al_2O_3$) es mayor de 8%.	3.5	-	4.5	-	-
Pérdida de calcinación. máx. %	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Residuo insoluble máx. %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico ($3CaO \cdot SiO_2$) máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	-	-	35	-
Silicato dicálcico ($2CaO \cdot SiO_2$). mín. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	-	-	40	-
Aluminato tricálcico ($3CaO \cdot Al_2O_3$) máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	8	15	7	5
Aluminoferrito tetracálcico más dos veces el aluminato tricálcico ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + 2(3CaO \cdot Al_2O_3)$).	-	-	-	-	-
6 solución sólida ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + 2CaO \cdot Fe_2O_3$) máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	-	-	-	20.0

1. DGM

5.1.1.1 El hecho de limitar los valores químicos expresados - como compuestos potenciales calculados, no necesariamente implica que los óxidos estén presentes efectiva o totalmente formando esos compuestos.

5.1.1.2 Para los cálculos de los compuestos el porcentaje de CaO será el resultado de restar el porcentaje de Oxido de Calcio libre al porcentaje de Oxido de Calcio total, y el porcentaje de Oxido de Silicio será el resultado de restar, al porcentaje de Oxido de Silicio, el porcentaje de residuo insoluble.

Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico es de 0.64 o mayor, los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferrito tetracálcico, deben calcularse en la siguiente manera:

$$\text{Silicato Tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times \% \text{CaO}) - (7.600 \times \% \text{SiO}_2) - (6.718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1.430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2.252 \times \% \text{SO}_2).$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times \% \text{SiO}_2) - (0.7544 \times \% \text{C}_3\text{S})$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1.692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3).$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = (3.043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3).$$

Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico es menor de 0.64, se forma una solución sólida de aluminoferrito cálcico, la cual se expresa en la siguiente forma: $\text{ss(C}_2\text{AF} + \text{C}_2\text{F)}$. El porcentaje de esta solución sólida y el del silicato tricálcico deben calcularse de la forma siguiente:

$$\text{ss(C}_4\text{AF} + \text{C}_2\text{F)} = (2.100 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) + (1.702 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3).$$

$$\text{Silicato tricálcico(C}_3\text{S)} = (4.071 \times \% \text{CaO}) - (7.600 \times \% \text{SiO}_2) - (4.479 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (2.859 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2.252 \times \% \text{SO}_2).$$

En los cementos con esta composición no se encontrará presente el aluminato tricálcico.

El silicato dicálcico se calcula en la forma indicada anteriormente.

En el cálculo del C_3A , los valores de Al_2O_3 y Fe_2O_3 deben expresarse con aproximación de 0.01%. En el cálculo de los otros compuestos, los óxidos determinados se expresarán con aproximación de 0.1%.

Los valores de C_3A y de la suma de $C_4AF + 2C_2F$ deben expresarse con aproximación de 0.1%. Los valores de los otros compuestos deben expresarse con aproximación de 1.0 por ciento.

5.1.1.3 Especificaciones Químicas Opcionales

Los requisitos opcionales de la Tabla 2 serán aplicables solo en el caso de que el comprador así lo especifique, considerándose entonces el cemento como especial y sujeto a previo acuerdo entre comprador y fabricante.

TABLA 2 Especificaciones Químicas Opcionales

Características	TIPO					Observaciones
	I	II	III	IV	V	
Aluminato tricálcico ($3CaO \cdot Al_2O_3$) máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	-	8	-	-	Para resistencia moderada a los sulfatos.
Aluminato tricálcico ($3CaO \cdot Al_2O_3$) máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	-	5	-	-	Para alta resistencia a los sulfatos.
Suma de silicato tricálcico y aluminato tricálcico. máx. % (Ver inciso 5.1.1.1).	-	58	-	-	-	Para calor a hidratación moderado.
Alcalis totales ($Na_2O + 0.658 K_2O$), máx. %.	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50	Cemento de bajo contenido de alcalis.

1. DGN

5.1.1.3.1 Este valor límite se aplica cuando se requiere calor de hidratación moderado y no se solicite la determinación del calor de hidratación.

5.1.2 Especificaciones Físicas

El cemento a que se refiere esta Norma debe satisfacer los requisitos que se anotan en la Tabla 3 de acuerdo con su tipo:

TABLA 3 Especificaciones Físicas

Características	TIPOS				
	I	II	III	IV	V
Figura, superficie específica, cm^2/g Método de permeabilidad - el aire, mínimo.	2800	2800	-	2800	2800
Sanidad (prueba de autoclave), expansión máxima en %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de fraguado Método Vicat: Fraguado inicial en minutos, no menos de..... Fraguado final en horas, no más de...	45 8	45 8	45 8	45 8	45 8
Resistencia a la compresión, kgf/cm^2 En cubos de mortero 1.2.75 e. masa (arena graduada - estándar), relación agua/cemento constante 0.485 Valores mínimos:					
A las 24 horas	-	-	130	-	-
A los 3 días	130	105	250	-	85
A los 7 días	200	175	-	70	155
A los 28 días	-	-	-	175	210

EN DGN

5.1.2.1 La resistencia a la compresión a cualquier edad debe ser mayor que la correspondiente a la edad inmediata precedente.

5.1.2.2 Especificaciones Físicas Opcionales

Los requisitos opcionales de la Tabla 4 serán aplicables sólo - en el caso de que el comprador así lo especifique; considerándose se entrecen el cemento como especial y sujeto a previo acuerdo entre comprador y fabricante.

TABLA 4 Especificaciones Físicas Opcionales

CARACTERISTICAS	T I P O S				
	I	II	III	IV	V
Fraguado falso, penetración final, mínimo %, (ver inciso 5.1.2.2.1)	50	50	50	50	50
Calor de hidratación. A los 7 días, en cal/g máximo.	-	70 (Ver inciso 5.1.2.2.2).	-	60	-
A los 28 días, en cal/g máximo.	-	80 (Ver inciso 5.1.2.2.2).	-	70	-

5.1.2.2.1 El método de prueba que debe seguirse para la determinación del fraguado falso es el de pasta de cemento.

5.1.2.2.2. Cuando se especifiquen calores de hidratación, no debe especificarse la suma de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, y en caso de que se especifique cualquiera de estos dos límites, los valores de resistencias para este cemento deben reducirse al 80% de los valores indicados en el cuadro de especificaciones físicas.

NOM-DQM

5.2 Marcado, etiquetado, envase y embalaje.

5.2.1 Marcado y etiquetado.

5.2.1.1 Cuando el cemento se entregue en sacos, se deben indicar claramente en éstos los siguientes datos: El nombre del producto, la marca registrada, el nombre o símbolo del fabricante, la ubicación de la planta, el tipo de cemento, el contenido neto en kilogramos, la Leyenda "HECHO EN MEXICO" y, cuando la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial lo autorice, el "Sello Oficial de Garantía".

5.2.1.2 Cuando el cemento se entregue a granel, las notas de embarque deben contener los datos de identificación que se indican en el inciso anterior.

5.2.2 Envasado

Cuando el cemento se envase en sacos, el contenido neto de cada saco de cemento debe ser de 50 kg, con una tolerancia de ± 750 g.

Previo autorización de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, el cemento se podrá envasar en sacos de capacidad diferente a la indicada en el párrafo y la tolerancia en el peso, de acuerdo con la Ley, será fijada en dicha autorización.

5.2.3 Embalaje

Los depósitos que se utilicen para el almacenamiento del cemento - Portland, deben estar contruidos de tal forma que la calidad del producto en ellos almacenado no se deteriore por la acción de la intemperie y deben tener fácil acceso para la inspección y el muestreo.

5 MUESTREO

Cuando se requiera un muestreo para una inspección éste podrá ser establecido de común acuerdo entre productor y comprador, recomendándose el uso de la NOM-Z-12. Para efectos oficiales el muestreo estará sujeto a las disposiciones reglamentarias de la inspección que se efectúe.

5.1 INFORME

El informe de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas efectuadas al cemento se debe hacer dentro de los límites de tiempo siguientes:

Para las pruebas de 24 horas	0 días
para las pruebas de 3 días	6 días
para las pruebas de 7 días	12 días
para las pruebas de 28 días	33 días

6.2 Rechazo.

6.2.1 El cemento puede ser rechazado si no cumple con todo lo especificado en esta Norma.

6.2.2 El cemento que no cumpla con la prueba de sanidad en rot-clave, podrá aceptarse si en una repetición con una nueva muestra efectuada dentro de los 28 días siguientes a la prueba inicial, satisficiera dicho requisito. La prueba provisional del cemento en la fábrica, no priva al comprador del derecho a rechazarlo si al efectuar la repetición de la prueba, ésta no cumple la especificación a que se hace referencia.

7 METODOS DE PRUEBA

Para la verificación de las especificaciones establecidas en esta Norma, deben consultarse las Normas Oficiales Mexicanas de Métodos de Prueba que se indican en el Capítulo 2.

8 BIELIOGRAFIA

A.S.T.M. C-150 - 73a "Standard Specification for Portland Cement"

APENDICE

A.1 Recomendaciones para el manejo y almacenamiento del cemento.

El cemento puede sufrir alteraciones en su calidad, debido a su almacenamiento y manejo, por lo que se recomienda que se vuelva a probar si se nota alguna irregularidad.

A.2 Revisiones sucesivas

La presente Norma deroga y sustituye a la Norma NOM-C-1-1975 con el objeto de ajustarla al formato de la NOM-7-13-1977, sin haber modificado su contenido técnico.

México, D. F., a 25 de Mayo de 1981.

EL DIRECTOR GENERAL

DR. JOSE ANTONIO SERRA CASTAÑOS.

Handwritten initials and a stamp: "SECRETARIA DE ECONOMIA" (partially visible).

NOMBRES COMERCIALES DE ALGUNOS ADITIVOS

FABRICANTE: PROPIEDAD:	FESTER	PROCONSA	SEALCRET	SIKA	IMPEL
INCLUSOR DE AIRE	Fest - aire	Aircon	Airsil	Sika aire	Airquir
DISPERSANTE	Festermix	Dispercon	Dispersil	—————	Dispe
FLUIDIFICANTE	Melment	—————	Dispersil N	Sikament	Quimil
DENSIFICADOR	Sonotard	—————	—————	Sikament L	Densi
RETARDANTE	Festerlith R	—————	Dispersil - R	Plastiment N	Dispe
ACELERANTE	Festerlith A	Rapidolith	Fraguasil	Sikament HE	Quimil
REPELENTE A LA ABSORSION	Fester silicon	Silicon A	Silicon WBS	Sika transparente	Aqua
REDUCTOR DE LA PERMEABILIDAD	Festergal	Impercon	Impersil	Sika - I	Imperqu norma
ESTABILIZADOR DE VOLUMEN	Ferrolith G	Propaque	Silpeck	Sikagrout N	Quimp
EXPANSOR	Festeterlit e	Espancon	—————	Interplast C	Expar
CEMENTANTE	Fester - grout	Sellacon	—————	Sika - 2	Fragu
ADHESIVO	Festerbond	Athecon	Adhesil	Sika latex	Quimil
ANTICORROSIVO DEL ACERO	—————	—————	—————	Colma dur 6l	—————
ANTICORROSIVO DEL CONCRETO	—————	—————	—————	Sika guard 64a	Epoxy
COLORANTE	—————	—————	—————	Sika kate RL	Cola

TABLA V. 3

DE ALGUNOS ADITIVOS

PROCONSA	SEALCRET	SIK A	IMPERQUIMIA	DURO- ROCK	POLDI
Aircon	Airsil	Sika aire	Airquim	Inclusair	Poldicret A
Dispercon	Dispersil	—————	Disperquim LL	RR. Rock I	Humectol
—————	Dispersil N	Sikament	Quimiment	—————	Poldicret NL
—————	—————	Sikament L	Densiplast N	RR Rock	—————
—————	Dispersil - R	Plastiment N	Disperquim RL	Durotard	Retrasol L
Rapidolith	Fraguasil	Sikament HE	Quimicrete A	RR Rock	Secosal
Sillicon A	Sillicon WBS	Sika transparente	Aquasil	Integral tipo V	—————
Impercon	Impersil	Sika - 1	Imperquim polvo normal	Integral normal	—————
Propaque	Silpack	Sikagrout N	Quimpac	Duro pack	Tricosal H-181
Espancon	—————	Interplast C	Expanquim	—————	Tricosal H-182
Sellacon	—————	Sika - 2	Fraguarapid	Sellador instantaneo	
Adhecon	Adhesil	Sika latex	Quimiweld N	Duro latex	Poldi-flex c.
—————	—————	Colma dur 61	—————	Oxi rock	Zelafax L
—————	—————	Sika guard 64a	Epoxitar	—————	Tricosal B
—————	—————	Sika kote RL	Colorcement	—————	Pigmentos

TABLA V. 3

BIBLIOGRAFIA

ADITIVOS PARA CONCRETO.-AGUSTIN DE NEYMET.-

CARTILLA DEL CONCRETO.- NUEVA SERIE I.M.C.Y.C. No. 4

CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERÍA.-KEYSER, CARLOS A.- LIMUSA-WILEY,

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.-ING. ALVARO ORTÍZ FERNÁNDEZ.-FUNDEC, A.C.

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.-VICTOR A. RODRÍGUEZ VALENCIA.- TESIS,
U.N.A.M.

EL CEMENTO: FABRICACIÓN, PROPIEDADES, APLICACIONES.- KEIL, PHIL FRITZ.-
EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS, S.A.

ELABORACIÓN DEL CONCRETO Y SUS PROPIEDADES.- L.J. MURDOCK.-C.E.C.S.A.

FABRICACIÓN DEL CEMENTO.- CEMENTOS TOLTECA, S.A. DE C.V.

HISTORY AND PROPIERTIES OF LIGHTWEIGHT AGGREGATES,INGENIERÍA NEW RECORD,
U.S.A.

LIGHTWEIGHT CONCRETE IN AMERICA.-WHITAKER,T.- H.M.S.O., LONDON,ENGLAND.

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.- ING. ANTONIO MIGUEL SAAD.- C.E.C.S.A.

PRONTUARIO DEL CEMENTO.- LABAHN KOHLHAAS.- EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS,S.A.

PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO.- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.-
LIMUSA-WILEY.

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO.- A.M. NEVILLE.- I.M.C.Y.C.