

**ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA Y SEGURIDAD
ANCLAJE MECANICO V: ANCLAJE CON MORTERO EPOXICO**

**MARIA ELENA ESCALANTE CORTINA
WILHER JOSE MARTINEZ GONZALEZ**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
CARTAGENA**

1999

**ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA Y SEGURIDAD
ANCLAJE MECANICO Vs ANCLAJE CON MORTERO EPOXICO**

MARIA ELENA ESCALANTE CORTINA

WILHER JOSE MARTINEZ GONZALEZ

Tesis de grado para aspirar al título de

Ingeniero Civil

DIRECTOR

JORGE LUIS ALVAREZ CARRASCAL

Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

CARTAGENA

1999

Cartagena de Indias D.T y C., 12 de junio de 1999.

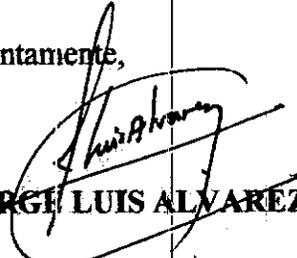
Señores:

Comité de Evaluación
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Universidad de Cartagena
E.S.D.

Estimados colegas:

Por medio de la presente y en mi condición de director de la tesis de grado "Análisis comparativo de resistencia y seguridad, Anclaje mecánico Vs anclaje con mortero epóxico", presentada por los estudiantes Maria Elena Escalante Cortina (Cod. 219310299) y Wilher José Martínez González (Cod. 219310028), manifiesto que he revisado dicho trabajo y considero que cumple con los requisitos necesarios para otorgar el título de Ingeniero Civil a los mencionados alumnos.

Atentamente,


JORGE LUIS ALVAREZ CARRASCAL

CC. 8.720.021 de Barranquilla.

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA	
CENTRO DE INFORMACION Y DOCUMENTACION	
FORMA DE ADQUISICION	
Compra _____	Donación <input checked="" type="checkbox"/> Canje _____ U. de C. _____
Precio \$ 3000	Proveedor <i>Pa. Ingeniería Civil</i>
No. de Acceso 36259	No. de ej. _____
Fecha de ingreso: DD 18	MM 06 AA 99

**NO EXISTEN DIFICULTADES ANTE LAS OTRAS PERSONAS.
LA UNICA DIFICULTAD ESTÁ DENTRO DE TI.**

ANTHONY DE MELLO

**SI SALE, SALE
SI NO SALE, HAY QUE VOLVER A EMPEZAR.
TODO LO DEMÁS SON FANTASIAS.**

MONET.

A Dios por su infinito amor.

A mis padres por la familia que me dieron,

Especialmente a mi madre, porque gracias a ella estoy aquí.

A mis amigos y a los amigos de mi familia porque podemos contar con ellos.

MAYI

**A Dios por iluminarme el sendero,
a mi padre por guiarme en el camino,
a mi madre por llenarme con su amor,
a mi esposa Ere por compartir conmigo su vida,
y a mi futuro hijo por darme la mayor razón para seguir adelante.**

Wilher.

Agradecemos de forma sincera a todas las personas que nos extendieron su mano para sacar adelante este proyecto de grado, cada uno a su manera nos estimuló y nos brindó la oportunidad de hacer lo mejor. Queremos agradecer especialmente a nuestras familias por su comprensión y a las siguientes personas y entidades:

Ing. Carlos Villalba, por haber sembrado en nosotros la inquietud hacia el tema.

Ing. Jorge Alvarez y sus empleados, por su desinteresada colaboración en la realización de éste proyecto.

CONCRETOS PREMEZCLADOS Y TOXEMENT y en su nombre a:

Los Ingenieros Rafael Gutiérrez, Gabriel Pérez y Rafael Ramos, por estar siempre dispuestos a solucionar nuestras inquietudes y por haber prestado sus instalaciones para la realización de nuestros ensayos. Lo mismo que al personal que labora en esta empresa.

SIKA ANDINA S.A. y en su nombre:

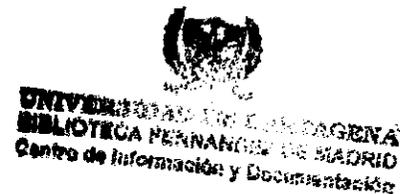
Ing. Reinaldo Andrade, por su desinteresada colaboración.

Ing. Javier Coll, por haber soportado nuestras molestias y darnos sus enseñanzas.

Ing. Cesar Pereira y sus empleados, por su disposición a colaborarnos.

Familia Alvarez Jiménez por colaborarnos en todo lo que estuvo a su alcance.

Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Cartagena, por la formación que nos impartió y el conocimiento que nos entregó.



CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 ANTECEDENTES	4
2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS	6
2.1 ADHERENCIA Y ANCLAJE	6
2.1.1 GENERALIDADES	6
2.1.2 DEFINICION DE "EFICACIA DE LA ADHERENCIA"	7
2.1.3 VALORACION DE LOS ACEROS COMERCIALES CON RESPECTO A COMPORTAMIENTO A LA VISTA DE LOS RESULTADOS HASTA AHORA CONOCIDOS	9
2.1.3.1 ACEROS DE ALTA ADHERENCIA	10
2.2 ADHERENCIA POR FLEXIÓN	15
2.2.1 LA POSICION DE LAS VARILLAS RESPECTO AL COLADO QUE LO RODEA	17
2.2.2 PERFILES DE VARILLAS Y CONDICION DE SUPERFICIE	20
2.2.3 EL ESTADO DE ESFUERZOS EN EL CONCRETO CIRCUNDANTE	21
2.2.4 LA FALLA POR FISURACION	23
2.2.5 CONFINAMIENTO	25
2.2.6 CARGAS REPETIDAS Y CICLICAS ALTERNADAS	26

2.2.7 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA UTILIZABLE POR ADHERENCIA	27
2.2.8 ANCLAJE RECTO PARA VARILLAS CON TENSION	31
2.3 COMPARACION DE DIVERSOS SISTEMAS DE CALCULO DE LAS LONGITUDES DE ANCLAJE DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO	32
2.3.1 LONGITUD BASICA DE ANCLAJE	33
2.3.2 LONGITUD MINIMA DE ANCLAJE	41
2.3.3 FACTORES QUE MODIFICAN LA LONGITUD REAL DE ANCLAJE	42
2.3.3.1 POSICION DE LAS BARRAS	42
2.3.3.2 INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO	44
2.3.3.3 INFLUENCIA DEL SIGNO DEL ESFUERZO	47
2.3.3.4 INFLUENCIA DEL EXCESO DE LA CUANTÍA DEL ACERO	49
2.3.3.5 RESUMEN Y COMENTARIOS	49
2.3.4 COMENTARIOS SOBRE LAS DISPOSICIONES SOBRE DESARROLLO Y ANCLAJES. (NSR 98)	55
2.4 ANCLAJES MECANICOS PARA CONCRETO	59
2.4.1 TIPOS DE ANCLAJES MECANICOS	59
2.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LOS ANCLAJES	59
2.4.2.1 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN	60
2.4.2.2 DIÁMETRO DE ANCLAJES	61

2.4.2.3 EMPOTRAMIENTO DE ANCLAJES	61
2.4.2.4 DISTANCIA ENTRE EJES Y DISTANCIA AL BORDE	66
2.4.2.5 FACTORES DE SEGURIDAD	68
2.4.3 SELECCIÓN DE DATOS	69
2.4.4 DATOS TECNICOS	71
2.5 ANCLAJE CON MORTERO EPÓXICO PARA CONCRETO	89
2.5.1 RESINAS EPOXICAS	89
2.5.2 COMPONENTES DE UNA FORMULACION EPOXI	95
2.5.3 ANCLAJES DE BARRAS UTILIZANDO RESINAS EPOXICAS	102
<u>3. ETAPA EXPERIMENTAL</u>	<u>120</u>
3.1 ANTECEDENTES	120
3.2 SELECCIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS	122
3.3 DISEÑO DE LOS MODELOS DE ENSAYO	124
3.3.1 MODELO DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCION DE VARILLAS	
UTILIZANDO TOC 8004-1 ANCLAJE	125
3.3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOLDES DE CONCRETO	126
3.3.1.1.1 DISEÑO A FLEXIÓN DE LOS MOLDES	127
3.3.1.1.2 DISEÑO A CORTANTE	130
3.3.1.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES METÁLICOS	
UTILIZADOS EN EL ENSAYO	131

3.3.2	MODELO DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCION DE VARILLAS UTILIZANDO SIKADUR 42 ANCLAJE	139
3.3.2.1	DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOLDES DE CONCRETO	141
3.3.2.2	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS	141
3.4	EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	144
3.4.1	CONCRETOS	145
3.4.2	ACEROS	145
3.4.3	MORTEROS EPOXICOS	147
3.5	PROCEDIMIENTOS DE LOS ENSAYOS	147
3.5.1	PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO CON EL TOC 8004-1	147
3.5.2	PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO CON EL SIKADUR 42	152
<u>4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS</u>		<u>155</u>
4.1	ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES	155
4.1.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	155
4.1.2	ENSAYO DE TENSION EN LAS VARILLAS	158
4.1.3	ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA MORTEROS EPÓXICOS	159
4.1.4	ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE VARILLAS	160
4.1.4.1	UTILIZANDO TOC 8004-1 ANCLAJE	160
4.1.4.2	UTILIZANDO SIKADUR 42 ANCLAJE	161

4.1.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DE VARILLAS	162
4.2 ANÁLISIS TEÓRICO	184
4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	187
4.3.1 ANÁLISIS DEL MODELO DE ANCLAJE CON MORTERO EPÓXICO	188
4.3.2 ANÁLISIS DEL MODELO CON ANCLAJE MECÁNICO	190
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	194

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 -	Diseño a flexión de los moldes de concreto	128
Tabla 2 -	Resistencia a la compresión de cilindros	155
Tabla 3 -	Resistencia a la compresión de cilindros	157
Tabla 3 -	Resistencia a la compresión de cilindros	157
Tabla 4 -	Datos de ensayo de tensión de varillas	158
Tabla 5 -	Resistencia a la compresión de los morteros epóxicos	159
Tabla 6 -	Resumen de los resultados de las pruebas de extracción Toc 8004-1 anclaje	160
Tabla 7 -	Resumen de los resultados de las pruebas de extracción Sikadur 42 anclaje	161
Tabla 8 -	Resistencia a la tensión del ancla de cuña	163
Tabla 9 -	Resistencia a la tensión del ancla de manga	164
Tabla 10 -	Resumen de resistencia a la tensión de los anclajes mecánicos	164
Tabla 11 -	Resistencia a la prueba de extracción. Sikadur 42	169
Tabla 12 -	Resistencia a la prueba de extracción. Toc 8004-1	169
Tabla 13 -	Resumen de la resistencia a la tensión del mortero epóxico	170
Tabla 14 -	Comparación de los datos de resistencia en los sistemas de anclaje. (mecánico y epóxico)	174
Tabla 15 -	Longitud efectiva de anclaje con limpieza deficiente	185

Tabla 16 - Comparación de datos de laboratorio y criterios de diseño 186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relación entre la tensión de adherencia y el deslizamiento	8
Figura 2 - Curvas real y simplificada de las tensiones de adherencia	9
Figura 3 - Superación del límite de adherencia con distancias desiguales entre nervios	10
Figura 4 - Relación entre la tensión de adherencia y el deslizamiento con aceros corrugados y redondos lisos	11
Figura 5 - Tensiones en una barra con un solo resalto	12
Figura 6 - Tensión de adherencia en la zona del anclaje	14
Figura 7 - Generación de anclaje y adherencia por flexión	15
Figura 8 - Influencia de las posiciones de colado en el comportamiento de la Adherencia	18
Figura 9 - Concreto deformado entre grietas transversales de un miembro a tensión	21
Figura 10 - Sección a través de una varilla de refuerzo y concreto	22
Figura 11 - Grietas de rajadura en la falla	25
Figura 12 - Distintos métodos de prueba de adherencia	30
Figura 13 - Longitud básica de anclaje en función de los diámetros de las barras	50
Figura 14 - Longitud básica de anclaje en función del diámetro de la barra y la resistencia del hormigón	52
Figura 15 - Longitud básica de anclaje en función de la resistencia del hormigón	54
Figura 16 - Pirámide truncada de falla para un grupo de anclajes con cabeza	58

Figura 17 - Profundidad de empotramiento	63
Figura 18 - Cono de falla de anclaje	63
Figura 19 - Mecanismo de anclaje mecánico	65
Figura 20 - Mecanismo de anclaje mecánico	65
Figura 21 - Capacidad de corte del anclaje mecánico	65
Figura 22 - Capacidad reducida	67
Figura 23 - Capacidad completa	67
Figura 24 - Relación resistencia - espaciamento	68
Figura 25 - Cono de falla	104
Figura 26 - Relación entre la carga máxima y la longitud de anclaje	105
Figura 27 - Dimensión y distribución del acero de refuerzo en los especímenes	107
Figura 28 - Máquina de ensayo	109
Figura 29 - Cargue y descargue sobre anclaje con mortero epóxico	111
Figura 30 - Comportamiento del anclaje epóxico ante carga cíclica	112
Figura 31 - Comportamiento del anclaje epóxico ante carga sostenida	113
Figura 32 - Comportamiento del anclaje epóxico ante carga sostenida	114
Figura 33 - Comportamiento del anclaje epóxico ante carga sostenida	115
Figura 34 - Relación fuerza desplazamiento hacia arriba	116
Figura 35 - Resumen de resultados experimentales	118
Figura 36 - Equipo de prueba de tensión utilizado por Ramset Red Head	120
Figura 37 - Esquema de la máquina de ensayo. Construcción y tecnología	121
Figura 38 - Detalle de refuerzo para anclar varilla No.4.	129

Figura 39 - Detalle de refuerzo para anclar varilla No.6.	129
Figura 40 - Detalle de refuerzo para anclar varilla No.8.	129
Figura 41 - Descripción del modelo para anclaje con el Sikadur 42 anclaje	140
Figura 42 - Elementos metálicos del ensayo de la máquina universal	142
Figura 43 - Esquema de laminas inferiores	144

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Resistencia a la tensión del anclaje de cuña vs diámetro	165
Gráfico 2 - Resistencia a la tensión del anclaje de manga vs diámetro	166
Gráfico 3 - Resistencia a la tensión del anclaje mecánico vs resistencia del concreto	167
Gráfico 4 - Resistencia del concreto vs anclaje Sikadur 42	171
Gráfico 5 - Resistencia a la tensión del anclaje Toc 8004-1 vs diámetro	172
Gráfico 6 - Resistencia del anclaje con mortero epóxico vs resistencia del Concreto	173
Gráfico 7 - Comparación de los sistemas de anclaje para un diámetro = 12.7mm	175
Gráfico 8 - Comparación de los sistemas de anclaje para un diámetro = 15.8mm	176
Gráfico 9 - Comparación de los sistemas de anclaje para un diámetro = 19.1mm	177
Gráfico 10 - Comparación de los sistemas de anclaje para un diámetro d = 25.4mm.	178
Gráfico 11 - Comparación de los sistemas de anclaje para $f'c=175\text{kg/cm}^2$	179
Gráfico 12 - Comparación de los sistemas de anclaje para $f'c=210\text{kg/cm}^2$	180
Gráfico 13 - Comparación de los sistemas de anclaje para $f'c=280\text{kg/cm}^2$	181
Gráfico 14 - Comparación de los sistemas de anclaje para $f'c=312\text{kg/cm}^2$	182
Gráfico 15 - Comparación de los sistemas de anclaje para $f'c=350\text{kg/cm}^2$	183

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Varillas torneadas para el anclaje	127
Foto 2 - Perfil metálico HEA 450	135
Foto 3 - Sistema de sujeción de varillas	137
Foto 4 - sistema de sujeción de varillas soldado al perfil metálico	138
Foto 5 - Maquina universal. Universidad de Cartagena	139
Foto 6 - Elaboración de moldes de concreto	141
Foto 7 - Ensayo de resistencia ala compresión de cilindros Laboratorios de concretos Premezclados y Toxement	145
Foto 8 - Ensayo de tensión de varillas	146
Foto 9 - Momento de la rotura de la varilla	146
Foto 10 - Cubos estándares de 50mm	147
Foto 11 - Plantilla de nivelación de superficie	148
Foto 12 - Armado de formaletas	148
Foto 13 - Armadura de refuerzo para los moldes de concreto	149
Foto 14 - Vaciado del concreto en los moldes	149
Foto 15 - Vigas de concreto	150
Foto 16 - Realización de perforaciones	150
Foto 17 - Colocación del Toc 8004-1	151
Foto 18 - Extracción de las varillas	151

Foto 19 - Montaje de la formaleta	152
Foto 20 - Vaciado del concreto	153
Foto 21 - Perforación de los bloques	153
Foto 22 - Aplicación del Sikadur 42 anclaje	154
Foto 23 - Aplicación de carga para la extracción	154
Foto 24 - Cono de falla típico de las pruebas de extracción.	162
Foto 25 - Agrietamiento en el concreto durante la prueba	163

INTRODUCCION

El tema de los anclajes, debe ser considerado por las personas relacionadas con los distintos campos de la construcción, con el objetivo de definir criterios claros sobre los elementos que intervienen en la concepción, diseño y materialización de los diferentes tipos de anclaje.

El objeto principal de estudiar las características de los anclajes es la necesidad de brindar soluciones seguras, ejecutadas técnicamente, dentro de los parámetros económicos que aseguren la satisfacción de los clientes. Ofreciendo así al medio la ética y el profesionalismo que se exige para la ejecución de obras.

El desarrollo de la ciencia y de la técnica, brinda al ingeniero civil una gran variedad de alternativas para realizar anclajes sobre los diferentes materiales usados en este medio, es así como hoy en día se han desarrollado anclajes basados en principios mecánicos de sujeción y anclajes cuyo fundamento esta relacionado con las características químicas de los materiales que lo conforman.

La investigación realizada en este proyecto, se basa en el estudio de los sistemas de anclajes sobre concreto endurecido, tocando parámetros de adherencia y desarrollo de esfuerzos, de acuerdo a las características propias de los materiales en estudio.

El estudio teórico es complementado con la elaboración de ensayos de laboratorio que permiten hacer una comparación entre el anclaje con mortero epóxico y el anclaje mecánico, para lo cual se elaboraron anclajes de varillas corrugadas de diámetros comerciales en moldes de concreto con resistencias típicas, realizando básicamente pruebas de extracción. Además de lo anterior, se elaboró una comparación económica sencilla, de un modelo de anclaje real.

El uso de anclajes se ha extendido en diversos campos de la construcción, como es el caso de anclajes de maquinarias, tuberías, fachadas colgantes, cielos rasos y su aplicación en la ampliación, remodelación y restauración de estructuras, por lo que se espera que este proyecto motive a los lectores a desarrollar sus criterios y a mirar la importancia de cada uno de los parámetros que intervienen en la selección de cualquier tipo de anclaje, para realizar obras con la calidad que el desarrollo de la humanidad exige.

1.1. OBJETIVOS

En el desarrollo teórico y práctico de este proyecto relacionamos los siguientes objetivos generales:

- Aportar la experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto a la solución de problemas de anclajes de barras en elementos construidos, a la hora de ampliar, remodelar ó cambiar de uso aquellos elementos de concreto que así lo requieran, debido a variaciones estructurales ó arquitectónicas en las edificaciones.
- Abrir el camino para nuevas investigaciones relacionadas con el anclaje en concreto simple endurecido.

Además en la realización del proyecto se persiguen los siguiente objetivos específicos:

- Determinar el comportamiento relativo entre los sistemas de anclaje mecánico y químico (mortero epóxico), ante los esfuerzos a tracción a que puedan ser sometidos y crear una tabla comparativa entre ellos.
- Establecer el uso, grado de resistencia y seguridad ofrecido por cada uno de los métodos.

- Comparar las diferentes normativas dadas en los códigos de construcción para las longitudes de anclaje, incluyendo la nueva norma colombiana de diseño y construcción sismoresistente (NSR- 98), a la vez que se establecen elementos de juicio para la selección, diseño y construcción de anclajes en concreto fraguado.

1.2. ANTECEDENTES

La investigación sobre el anclaje está íntimamente relacionada con los conceptos de adherencia y desarrollo de esfuerzos, por lo cual el estudio del comportamiento de los anclajes inicialmente fue considerado desde este punto de vista, haciendo una homologación al caso de longitudes de desarrollo de barras en hormigón. Este punto de vista sigue siendo valedero por lo cual toda persona relacionada con el diseño y construcción de anclajes debe conocer y manejar adecuadamente la normativa sobre longitudes de anclaje y desarrollo.

Con el crecimiento de la ciencia y de la técnica se han presentado gran cantidad de soluciones prácticas cuyo soporte se encuentra basado en formulaciones empíricas que han sido debatidas y aceptadas por el buen juicio de los ingenieros y las personas relacionadas con el campo de la construcción.

Algunos de los anclajes mecánicos más difundidos en nuestro medio corresponden a anclajes de tipo cuña, manga, multiusos, autoperforante, no perforante y de espárrago, cuya base es la sujeción por principios mecánicos (estáticos y dinámicos); mientras que por otro lado encontramos anclajes que se realizan con morteros, ya sea de base cementosa o epóxica. La utilización de estas nuevas tecnologías ha enriquecido el estudio de los anclajes, suministrando nuevos parámetros que motivan nuevas aplicaciones.

Esta investigación surge por la necesidad de dar un manejo adecuado a los adelantos obtenidos en el diseño y construcción de anclajes, a la vez que se espera aportar las experiencias que se obtengan a lo largo del proceso investigativo.

2. CONSIDERACIONES TEORICAS¹

2.1. ADHERENCIA Y ANCLAJE

2.1.1. GENERALIDADES

Al discutir la multitud de problemas surgidos como consecuencia del desarrollo técnico en el campo de la construcción en hormigón armado, se descuidan a veces, e incluso se olvidan, las bases fundamentales del comportamiento de este material. No hay que perder de vista que el hormigón armado es un material compuesto, que presupone una continuada acción conjunta de las armaduras y del hormigón. Hasta qué punto se cumple esta premisa depende, en primer lugar, de la bondad de la adherencia entre los redondos y el hormigón, problema que no pierde nunca actualidad.

Lo que ha de exigírsele a tal adherencia pueden aclararlo las siguientes condiciones.

a). La ligazón ha de ser lo suficientemente efectiva como para dar lugar en estado de servicio, incluso bajo cargas exteriores mantenidas, a una ley de tensiones en las armaduras semejante a la del esfuerzo en la pieza.

¹ Tomado de adherencia y anclaje. Gallus Rehm. I.e.t.c.c instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento.



El cumplimiento de lo expuesto debe quedar garantizado, incluso aplicando la carga máxima. De lo contrario habría que adoptar las medidas oportunas para que el anclaje en los extremos y para adaptar la disposición de la armadura a la ley real de esfuerzos.

b). Las fisuras que aparecen inevitablemente en elementos de hormigón armado debido a la reducida resistencia a la tracción del hormigón, deben limitarse en anchura para garantizar la protección de las armaduras frente a la corrosión y evitar desagradables efectos estéticos.

No es preciso añadir que, en igualdad de circunstancias, la distribución de las fisuras será tanto mejor, cuanto mayor sea el efecto de la adherencia entre el hormigón y el acero.

Vemos por tanto, que el interés de este problema es no solamente técnico, sino también práctico. Sólo se podrá construir adecuadamente en hormigón armado si se dispone de conocimientos suficientes acerca de la eficacia de la adherencia bajo diferentes circunstancias que puedan darse en la práctica.

2.1.2. DEFINICIÓN DE “EFICACIA DE LA ADHERENCIA”

Dado que estamos habituados a emplear tensiones y deformaciones, el efecto de la adherencia se expresa también, generalmente, por un esfuerzo de tensión. De la misma forma que en una armadura cada tensión origina una deformación determinada, la definición de tensión de adherencia será incompleta si no especificamos la deformación correspondiente, en este caso el deslizamiento.

Por consiguiente, está justificado que se haga depender la bondad de la adherencia del tipo de correspondencia existente entre la tensión de adherencia y el deslizamiento. Cuanto

menor sea éste, considerando constante la tensión de adherencia, o, con otras palabras, cuanto mayor sea la tensión de adherencia, permaneciendo siempre igual el deslizamiento, tanto mayor será la eficacia de la adherencia.

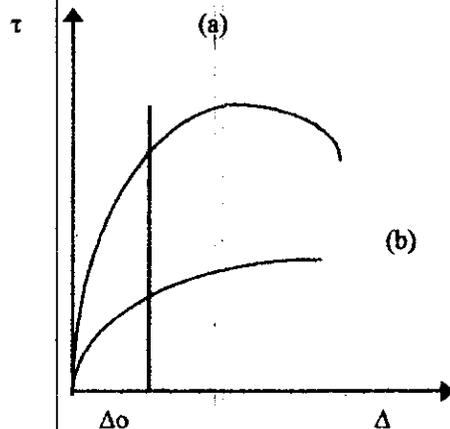


Fig. 1. Relación entre la tensión de adherencia y el deslizamiento con buena (a) y con mala (b) adherencia.

La figura 1 muestra la relación entre la tensión de adherencia y el deslizamiento con buena (a) y con deficiente (b) adherencia. No obstante, se precisa aún de una definición más amplia, singularmente en lo que respecta a puntualizar bien la interrelación que afecta a adherencia y a deslizamiento. Por lo común, apenas se considera este particular, hablándose simplemente de deslizamientos y de tensiones de adherencia medios en los extremos libres de las varillas. Pero si queremos comprender el fenómeno a fondo, hemos de fijar la relación entre la tensión local de adherencia y el respectivo deslizamiento local, o sea, las leyes de carga - deslizamiento para un elemento diferencial de armadura.

La única forma idónea para determinar estas leyes es la realización de ensayos de arrancamiento con armaduras de reducida longitud de adherencia, ya que solo entonces se cumplirá con suficiente aproximación la hipótesis simplificada de reparto uniforme de la tensión de adherencia. (Figura 2).

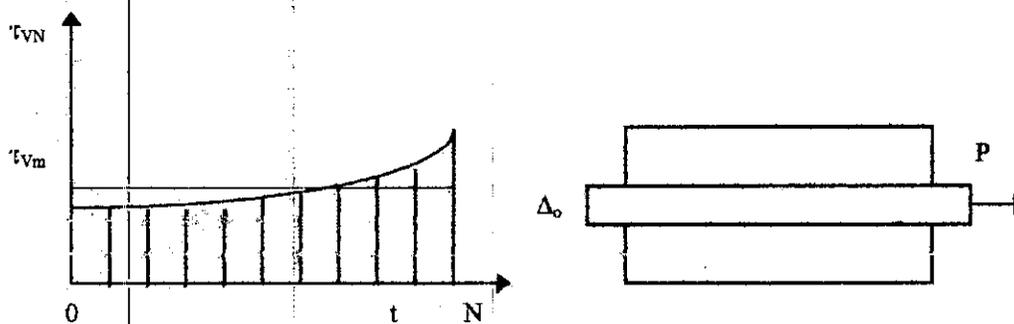


Fig. 2. Curvas real y simplificada de las tensiones de adherencia.

Tales ensayos se conocen desde hace muchos años, pero su aplicación general se ve dificultada por las elevadas exigencias de precisión que estos ensayos implican al confeccionar y ensayar las próbetas.

2.1.3. VALORACIÓN DE ACEROS COMERCIALES RESPECTO A SU COMPORTAMIENTO ADHERENTE, A LA VISTA DE LOS RESULTADOS HASTA AHORA CONOCIDOS.

Al aplicar los resultados científicos a la práctica, se obtienen los siguientes criterios:

2.1.3.1. ACEROS DE ALTA ADHERENCIA

Entre ellos hay que mencionar en primer lugar los aceros corrugados. Es evidente que si se disponen nervios de manera sistemática, la adherencia se mejora considerablemente en relación con la del acero liso, que depende de muchos imponderables, y al poder prever con más seguridad su efecto podrá también lograrse un mejor aprovechamiento. Los nervios proporcionan una unión continua con el hormigón. La rotura puede tener lugar por corte del saliente de hormigón que se encuentra entre dos nervaduras vecinas o al saltar una cuña del hormigón. La figura 3 muestra estas dos posibilidades.

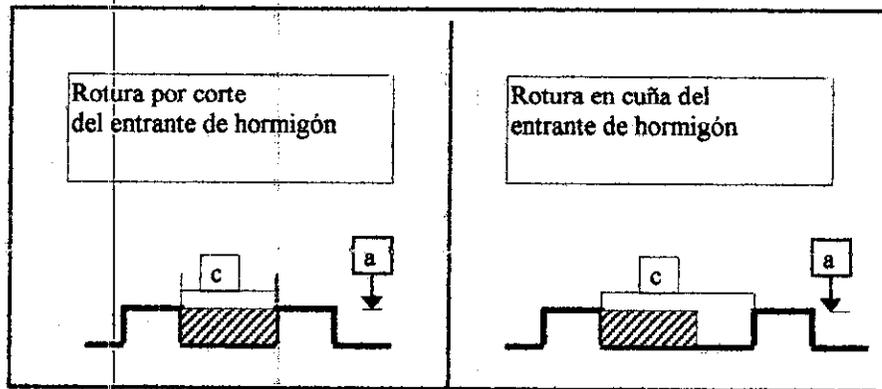


Figura 3. Superación del límite de adherencia con distancias desiguales entre nervios, c'.

El diagrama de adherencia de los aceros nervados se caracteriza porque a tensión de adherencia creciente tienen lugar deslizamientos también crecientes. El fallo suele ocurrir de repente al alcanzarse el límite de adherencia. En la figura 4 se representa esta

dependencia entre tensión de adherencia y deslizamiento. Es patente la diferencia entre el acero corrugado y el liso.

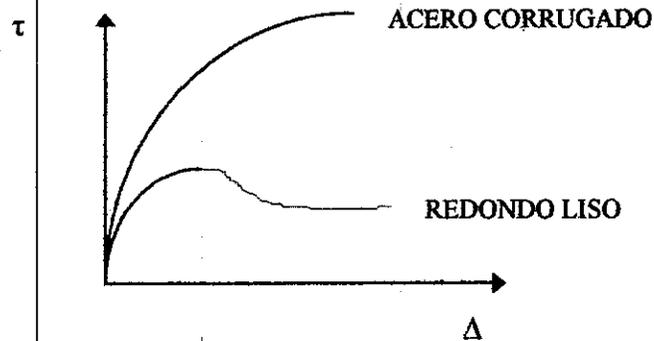


Fig. 4 Relación entre la tensión de adherencia y el deslizamiento con aceros corrugados y redondos lisos.

El criterio decisivo para juzgar la bondad de la adherencia de aceros corrugados viene dado por la relación entre la altura y la distancia entre nervaduras. Si se deseara tener en cuenta todos los detalles, habría que formular una definición exacta relativa a la superficie eficaz de los nervios. Pero para lo que ahora se expone basta, sin embargo, considerar la relación, de mas fácil comprensión, entre altura y distancia entre nervios.

Este valor determina la relación entre las tensiones normales que actúan en la superficie de un nervio y los esfuerzos cortantes que en el entrante de hormigón actúan tangencialmente en dirección a la sollicitación, como puede verse en la figura 5 en una barra de un solo resalto.

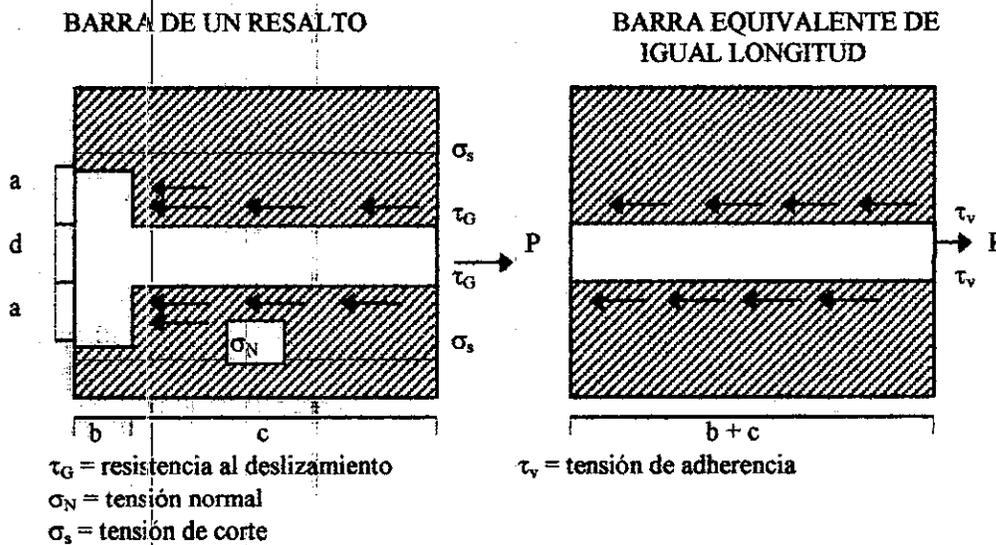


Fig. 5. Tensiones en una barra con un solo resalto.

Numerosos ensayos y experiencias prácticas han demostrado que puede lograrse un aprovechamiento óptimo de las propiedades del hormigón, conformando las varillas nervadas de manera que la relación entre la altura y distancia de los nervios oscile entre 0.07 y 0.1. Se supone que la anchura de los nervios es despreciable en comparación con las distancias entre los mismos.

Se recomienda introducir la relación entre la altura media de nervios y la distancia libre entre nervios. Una relación de 0.1 corresponde a una eficacia adherente óptima.



Las armaduras corrugadas, empleadas en gran cantidad en Alemania desde hace varios años, satisfacen más o menos estas exigencias. En otros países rigen normas que en parte se desvían de lo anterior, hasta el punto de que, a menudo, apenas consideran las propiedades adherentes. En algunos países, por ejemplo, se admiten grandes distancias entre nervios, con lo que la adherencia es lógicamente menor.

Considerándolo objetivamente, es inexplicable el por qué no se exigen las condiciones ideales de adherencia mediante perfilamiento nervado de las superficies de armaduras, toda vez que de ello no se derivarían aumentos de costo dignos de mención. La aplicación de aceros corrugados con resaltos transversales suficientemente buenos garantiza propiedades de adherencia, con los aceros hoy comunes, que permiten llegar a la carga máxima, cumpliendo así el principio de la interacción continuada de hormigón y armadura. Normalmente, estas barras corrugadas pueden colocarse sin anclaje suplementario en los extremos, incluso para solicitaciones en estado de servicio que produzcan tensiones de 2500 a 3000 kp/cm² y con secciones de 26 a 30 mm de diámetro.

La longitud de anclaje por prolongación recta se obtiene, como es sabido, por la formula siguiente:

$$l_v = \frac{\sigma_s}{v * 4 \tau_1 \text{ adm}} \phi$$

En ella hay que fijar la tensión de adherencia, $\tau_1 \text{ adm}$ de forma que:

- a) No se produzcan deslizamientos en el extremo de la barra bajo la carga de trabajo.

b) Al alcanzarse la carga límite los deslizamientos no sobrepasen 0.1 mm.

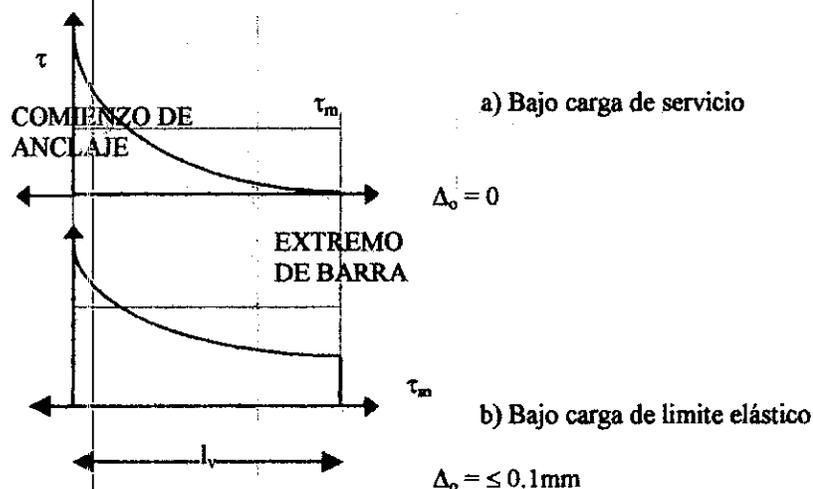


Fig. 6. Tensión de adherencia en la zona de anclaje. Curva de tensiones de adherencia en la zona de anclaje de una barra corrugada recta.

En la figura 6 está la curva de tensiones de adherencia para ambos casos. Estas condiciones impiden, con la adecuada seguridad, que se produzca un fallo en la obra por deslizamiento de anclajes.

Con las leyes enunciadas anteriormente que relacionan deslizamientos y tensiones de adherencia, pueden obtenerse las longitudes de anclaje necesarias teniendo en cuenta la calidad del hormigón, la posición de la barra en el elemento resistente, etc.

Las ventajas de los aceros nervados en la aplicación de aceros de alto límite elástico y de gran diámetro, saltan a la vista. No obstante, para su aplicación deben fijarse límites apropiados. No necesita de mayores explicaciones el hecho de que al aumentar la calidad del acero, y con ella su tensión, aparecerán los mismos problemas que en los aceros lisos

con escasas adherencia y tensión del acero. La longitud de los anclajes en los extremos de las barras no siempre puede ser la que se desea y ello por razones constructivas, hasta el punto de que a veces es obligado echar mano de ganchos u otros elementos análogos de anclaje. Con respecto al diámetro de las barras rigen los mismos principios, ya que la longitud absoluta del anclaje debe aumentar paralelamente al diámetro. Pero tratándose de medidas considerables, el punto decisivo reside en el aumento del efecto de fisuración del hormigón en la zona de anclaje y en el peligro de que se hagan mayores fisuras.

2.2 ADHERENCIA POR FLEXIÓN¹

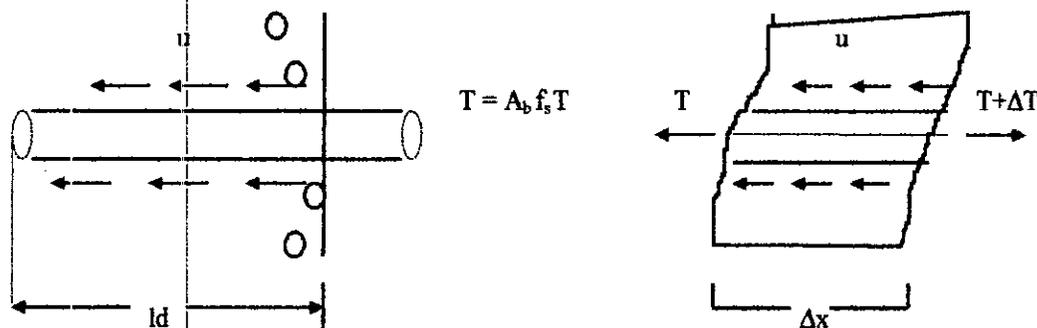


Fig. 7. Generación de anclaje y adherencia por flexión.

Se demostró que las fuerzas de adherencia ΔT se desarrollan a lo largo del refuerzo de flexión en el claro a cortante de cualquier viga. Si se supone que los esfuerzos de adherencia u están distribuidos uniformemente entre dos secciones cualesquiera próximas entre sí, el equilibrio de una longitud corta de varilla (fig. 7) requiere que $\Delta T = u \Sigma o \Delta x$.

¹ Tomado de Estructuras de concreto reforzado. Park and Paulay

Sin embargo, para que ocurra la acción de viga ideal, la fuerza T de tensión interna debe variar en la misma proporción que el momento flexionante externo M.

En consecuencia,

ΔT : fuerzas de adherencia

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{jd} = \frac{V}{jd} \Delta x$$

ΔM : incremento del momento

Δx : diferencial de longitud

por tanto

jd: brazo de palanca

$$u = \frac{V}{jd \Sigma o} \quad (\text{ec. 1})$$

donde u = esfuerzo de adherencia, y
 $jd \Sigma o$ = cambio del momento flexionante.

Esta ecuación indica que cuando la razón de cambio del momento flexionante externo es alta, el esfuerzo de adherencia por flexión también puede exhibir alta intensidad. Sin embargo la ec. 1 simplifica grandemente la situación, y ni siquiera predice con aproximación la magnitud del esfuerzo real de adherencia, lo que se debe a que la presencia de grietas en el concreto, a intervalos discretos a lo largo de un miembro, produce esfuerzos adicionales de adherencia debidos a la tensión que trasmite el concreto entre las grietas. Incluso cuando la fuerza cortante es cero, se desarrolla un esfuerzo de adherencia. Sin embargo, se ha observado que si se dispone de longitud de anclaje suficiente para las varillas, no ocurre la falla originada en el esfuerzo de adherencia por flexión. Las consideraciones de adherencia por flexión requieren que se verifique la longitud de anclaje en las regiones de los miembros donde el momento flexionante es cero.

En tales regiones, el área del acero a tensión puede ser pequeña y la fuerza cortante grande, lo cual produce elevados esfuerzos de adherencia por flexión.

2.2.1 LA POSICIÓN DE LAS VARILLAS RESPECTO AL COLADO DEL CONCRETO QUE LAS RODEA

La relación de carga - deslizamiento de adherencia, para las varillas corrugadas, está afectada primordialmente por el comportamiento del concreto que está inmediatamente frente a las costillas. La calidad del concreto en ésta región depende de su posición relativa cuando se cuela. Atrae la atención el efecto de la ganancia de agua y sedimentación bajo varillas de refuerzo y bajo partículas de agregado grueso con relación a la acción dovola. Como resultado, se puede formar una capa suave y esponjosa de concreto bajo las costillas. Cuando se deben desarrollar esfuerzos de apoyo de elevada intensidad contra dicha zona suave, pueden ocurrir grandes deslizamientos. La fig. 8 muestra cómo se afectan tres varillas en distintas formas por una capa porosa de concreto, aunque todas tiendan al desarrollo de la misma carga última.

Se cree que las varillas superiores de una viga tengan cualidades más pobres de adherencia que las varillas inferiores, ya que la ganancia de agua y aire es mayor bajo las varillas superiores. Además el movimiento descendente relativo del concreto que las rodea, provocado por el asentamiento de la mezcla fresca, puede ser grande. La cantidad de asentamiento que ocurra depende del grado de sangrado del concreto fresco y de la razón a la que permita escapar al agua de la forma. Welch y Patten estudiaron este efecto y

compararon el rendimiento de la adherencia de las varillas rodeadas por concreto en formas de madera con fugas y en cimbras de acero bien selladas. En éstas últimas también retardaron el colado del concreto durante 40 minutos. Sus resultados (fig 8) demuestran el efecto profundo del asentamiento en la adherencia, especialmente para las varillas superiores. El código ACI reconoce este fenómeno y exige una longitud de desarrollo

Fig. 10. Influencia de las posiciones de colado en el comportamiento de la adherencia.

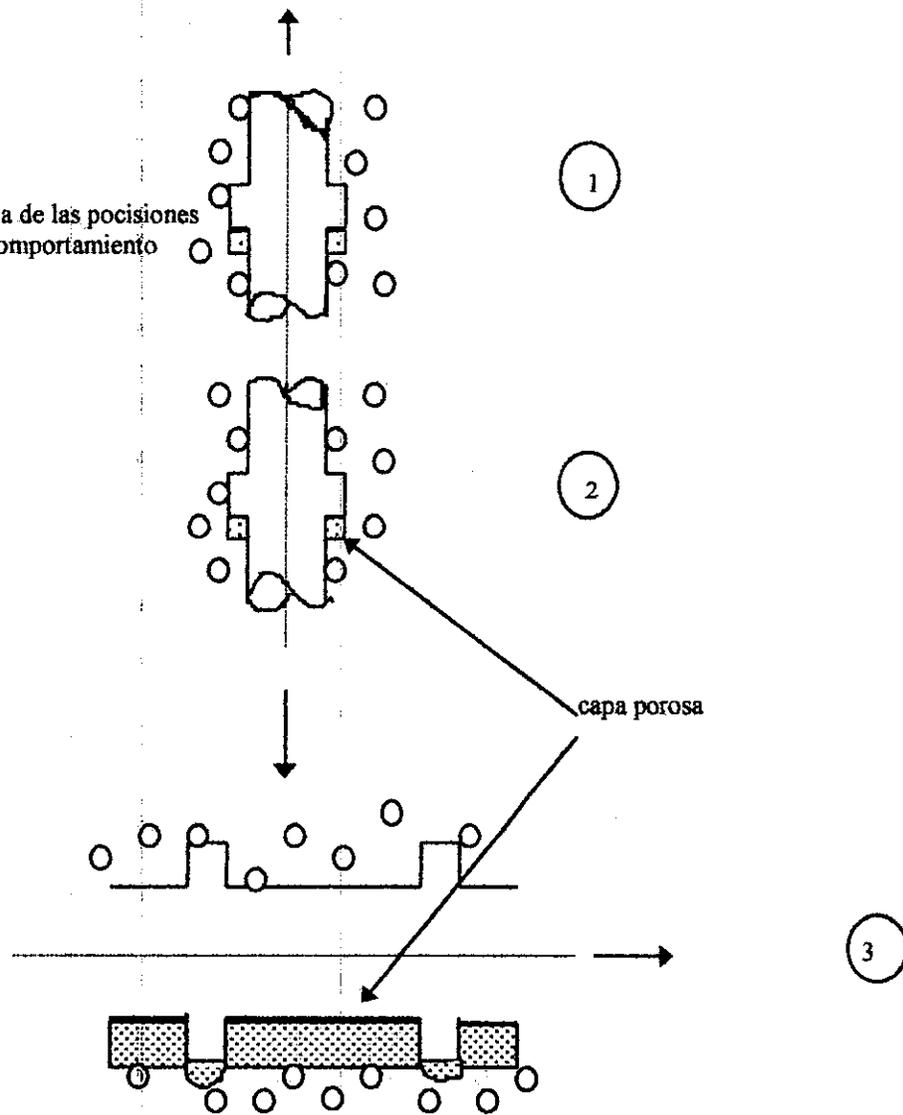


Figura 8A

excedente en 40% para las varillas corrugadas superiores.

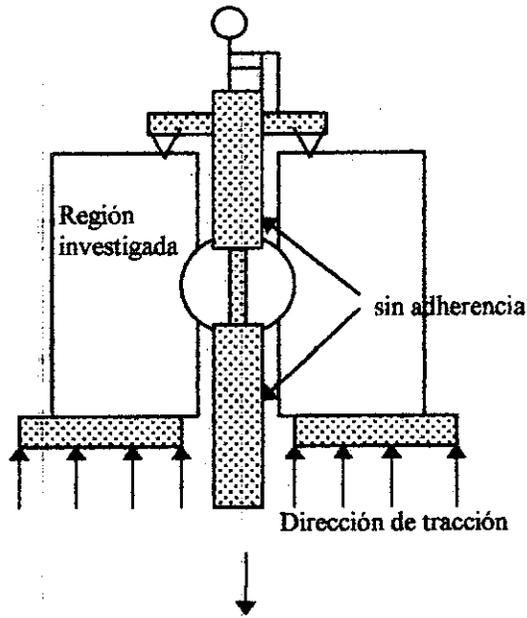


Figura. 8B

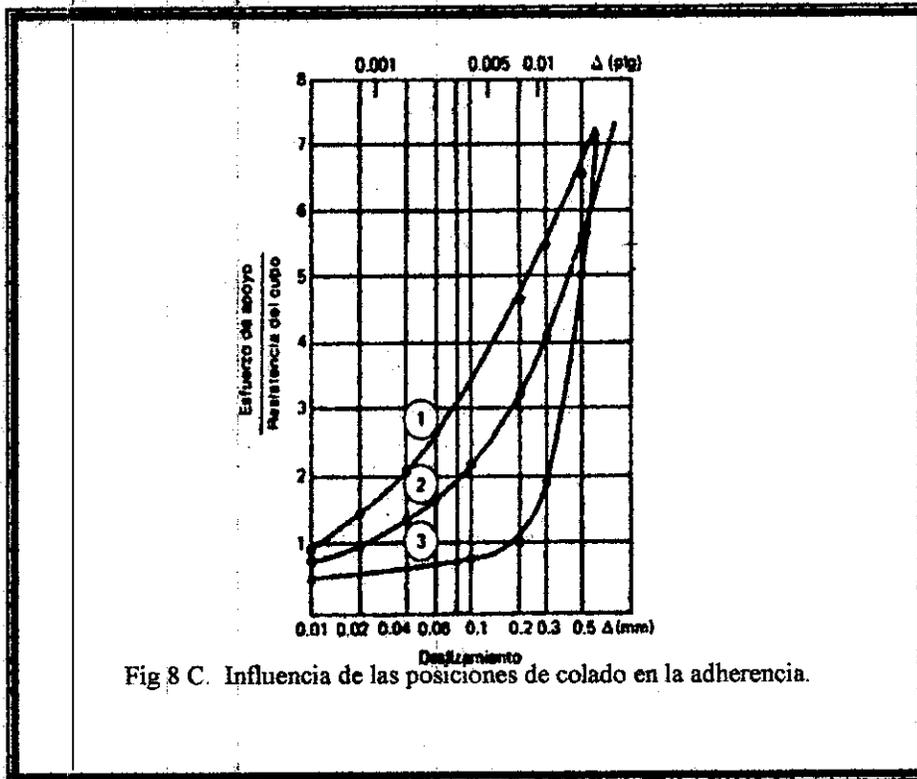


Fig 8 C. Influencia de las posiciones de colado en la adherencia.

2.2.2 PERFILES DE VARILLAS Y CONDICIÓN DE SU SUPERFICIE

La variación en el ángulo entre la cara de la costilla y el eje de la varilla no parece afectar la resistencia por adherencia, si este ángulo es mayor de 70° . Cuando el ángulo está entre 45° y 70° , las corrugaciones deben invertirse en dirección a cada lado o en los lados opuestos de la varilla. Pruebas especiales de extracción, utilizando especímenes de varillas con una sola costilla, indicaron que si el ángulo es mayor de 40° , la fricción entre la cara de la costilla y el concreto es suficiente para restringir el deslizamiento a lo largo de la entrecara. Entonces es probable que el deslizamiento de la varilla sea principalmente atribuible al aplastamiento del concreto frente a las costillas de las varillas. Por otra parte, si el ángulo es pequeño y la superficie lisa, el deslizamiento puede ocurrir a lo largo de la cara de la costilla, y ésta tiende a empujar al concreto alejándolo de la varilla. Esta acción de cuña puede ser una causa principal de fisuración longitudinal a lo largo de la varilla.

No parece que los distintos grados de oxidación superficial o escamación ordinaria afecten adversamente las características de adherencia de las varillas corrugadas, si el paso unitario de un tramo limpio de varilla satisface los requerimientos mínimos de las especificaciones estándar, por lo que se llegó a la determinación de que no es necesario limpiar la superficie de la varilla antes de utilizarla en la construcción de concreto. Para un medio ambiente dado que provoca oxidación, el espesor de ésta será aproximadamente el mismo para todos los tamaños de varillas, por lo cual las de mayores diámetros con costillas más altas son menos afectadas por la oxidación.

2.2.3 EL ESTADO DE ESFUERZOS EN EL CONCRETO CIRCUNDANTE

En las secciones anteriores se examinaron las condiciones que prevalecen en la vecindad inmediata de una costilla de una varilla corrugada. Para permitir que se desarrolle la resistencia completa de una varilla, es necesario transmitir fuerzas de adherencia a través de numerosas costillas adyacentes, por lo que las condiciones de esfuerzos en el concreto circundante fluctúan a lo largo de una varilla ahogada y afectan el rendimiento de la adherencia. No es posible obtener la resistencia por adherencia o anclaje de una varilla a partir de la suma simple de la resistencia por adherencia de un número dado de costillas individuales.

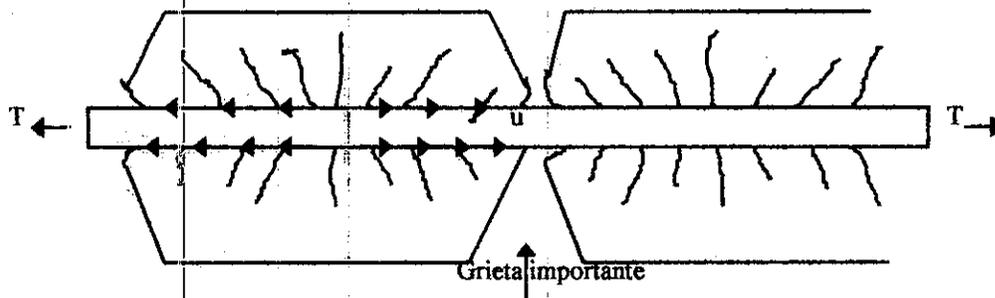


Figura 9. Concreto deformado entre grietas transversales de un miembro en tensión.

Como se ilustra en la fig. 9, los esfuerzos en el concreto que rodea a una varilla corrugada inducen grietas y deformaciones del concreto. Los esfuerzos de adherencia u , que se transmiten al concreto, sujetan al concreto de recubrimiento a tensión excéntrica. Las deformaciones del concreto, producto de los esfuerzos generados de esa manera, tienden a

separar al concreto de éste acero en la proximidad de la grieta grande. Entonces se alcanza la resistencia a tensión de la adherencia entre el acero y el mortero, y el concreto que rodea a la varilla se separa del acero.

También se pueden formar numerosas grietas secundarias internas que pueden no propagarse a la superficie externa del concreto. En las varillas comunes se puede esperar que desaparezcan completamente los esfuerzos de adherencia donde haya ocurrido la separación entre el acero y el concreto. Con las varillas corrugadas, se deben transmitir las fuerzas de adherencia en esta área únicamente mediante apoyo de las costillas, como se indica en la fig. 10. Parte de la tensión del concreto se pierde cuando una grieta primaria se abre cerca de la superficie de la varilla.

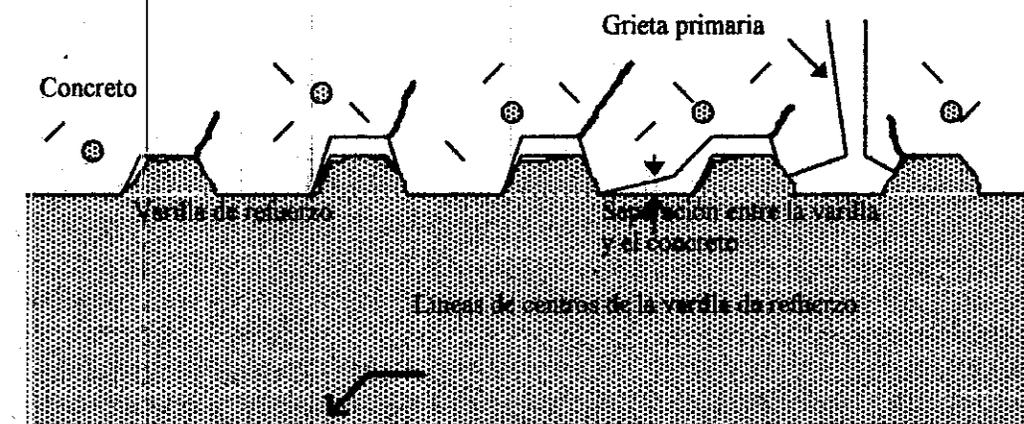


Figura 10. Sección a través de una varilla de refuerzo y concreto, que muestra la separación que ocurre cerca de una grieta primaria.

Cuando el concreto se separa de alrededor de una varilla en una grieta primaria, aumenta la circunferencia de la superficie del concreto que anteriormente estaba en contacto con aquella; en consecuencia, se inducen esfuerzos perimetrales de tensión. Estos esfuerzos pueden conducir a grietas de fisuración longitudinal.

Cuando se está alcanzando la capacidad última en la transferencia de adherencia, hay aplastamiento frente a las costillas. El polvo de concreto compactado, que se extiende frente a la costilla, a una distancia hasta de tres veces la altura de ella, forma una cuña plana, que tiende a apartar al concreto todavía más de la varilla. En consecuencia, se generan esfuerzos adicionales a tensión perimetral que pueden producir una falla por fisuración.

El concreto que rodea a una varilla específica puede estar sujeto a esfuerzos distintos de los generados por adherencia, debido a que participa en otras acciones estructurales. En la intersección de las vigas en los marcos de construcción, la compresión o tensión se induce transversalmente a las varillas.

Análogamente, se puede inducir tensión transversal en el concreto alrededor de las varillas superiores de vigas que soportan losas continuas. Dichos esfuerzos transversales de tensión pueden conducir a agrietamiento prematuro a lo largo de las varillas principales y afectar adversamente su rendimiento de adherencia. Recíprocamente, la compresión transversal puede proporcionar confinamiento benéfico a las varillas ahogadas.

2.2.4 LA FALLA POR FISURACIÓN

En los casos en que se suministra longitud adecuada de ahogamiento en una masa grande de concreto; no es posible producir una falla de adherencia (extracción) con varillas corrugadas estándar. Más bien, la varilla se fractura en su extremo cargado. Sin embargo,

en la mayoría de las componentes estructurales, el área del concreto que rodea a una varilla o grupo de varillas es relativamente pequeño. En tal caso, el modo común de falla es la fisuración, ya que el concreto que las rodea no puede soportar los esfuerzos de tensión perimetral.

Un caso especialmente severo se origina en el claro a cortante de vigas, en que se puede inducir la fisuración a lo largo del refuerzo de flexión por la combinación de los siguientes eventos:

1. Esfuerzos de tensión perimetral generados en la proximidad de cada grieta por flexión.
2. Esfuerzos de tensión perimetral o transversal inducidos por la acción de cuña de las deformaciones y por el concreto comprimido en las costillas cuando es necesario transferir grandes fuerzas de adherencia.
3. Esfuerzos de tensión transversal debidos a la acción de dovela del refuerzo de flexión. Este evento esta asociado con el desplazamiento a cortante a lo largo de las grietas diagonales.

Un grupo de varillas, especialmente cuando están espaciadas estrechamente, crea una situación más adversa que una sola varilla, como se ilustra en la fig. 4 que muestra grietas de fisuración típicas observadas.

2.2.5 CONFINAMIENTO

Se puede restringir el ensanchamiento de las grietas de fisuración, si se puede confinar el concreto que rodea una varilla. En determinadas áreas, tal como en los extremos apoyados simplemente de las vigas, normalmente se dispone de compresión transversal de la fuerza de reacción. La compresión transversal es benéfica al anclaje del refuerzo.

Se ha encontrado que un mayor recubrimiento de concreto produce cierta resistencia aumentada contra la fisuración; sin embargo, el mejor rendimiento de adherencia no es proporcional al espesor del recubrimiento adicional. El recubrimiento adicional no proporciona protección contra un ancho excesivo de las grietas superficiales, (las varillas superiores de tamaño mediano parecen beneficiarse más del recubrimiento adicional). La influencia del recubrimiento se elimina cuando la acción de dovela afecta la adherencia.

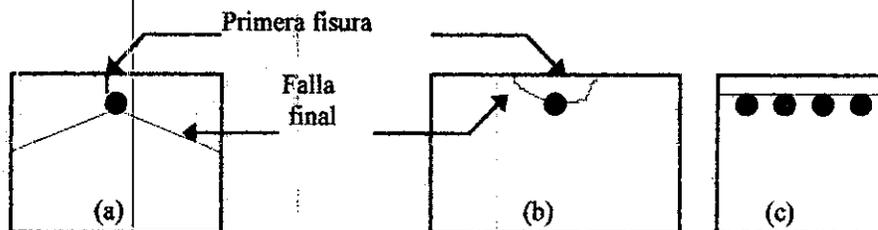


Figura 11. Grietas de rajadura en la falla. (a) Caso típico. (b) En vigas muy anchas. (c) Con varillas espaciadas estrechamente.

Los estribos, especialmente cuando se espacian estrechamente, impiden la apertura de grietas que se forman a lo largo de las varillas ahogadas y permiten que se transmitan mayores fuerzas de adherencia. En muchos casos (fig. 11 c) esto es posible solamente si se transmiten esfuerzos cortantes mediante la trabazón del agregado a través de las grietas de

fisuración. Los estribos no pueden impedir las grietas de fisuración, que siempre se forman cuando se utilizan varillas grandes; pero permiten que la fricción se transfiera a lo largo de las grietas. Los estribos no parecen mejorar el control del ancho de las grietas, pero aseguran que ocurra un tipo más dúctil de falla por adherencia.

Cuando se sitúan empalmes en las zonas críticas, se puede requerir refuerzo especial en la forma de espirales o aros. Se puede evaluar el rendimiento de ese refuerzo utilizando el concepto de transferencia de cortante de entrecara.

El objetivo del confinamiento mediante compresión transversal o refuerzo transversal es impedir una falla a lo largo de una grieta de fisuración potencial y obligar, de ser necesario, una falla por cortante, que esta asociada con la máxima resistencia por adherencia posible. Las varillas más grandes se benefician más del confinamiento que las más pequeñas.

2.2.6 CARGAS REPETIDAS Y CÍCLICAS ALTERNADAS.

Cuando se aumenta la fuerza a tensión en una varilla y se rompe la adherencia entre el acero y el concreto, ocurre un cierto deslizamiento friccional antes de que se movilice la capacidad de apoyo total de una costilla. Después de retirar la carga de una varilla, se desarrolla resistencia friccional negativa, que explica parte de la tensión residual en la varilla y la compresión correspondiente en el concreto que la rodea. La deformación inelástica en la proximidad de las costillas, el microagrietamiento en el concreto y la liberación de las deformaciones de contracción produce cierto deslizamiento permanente,

cuya magnitud depende primordialmente de la intensidad de la carga aplicada previamente. Por esta razón, las grietas formadas durante el tensado de una varilla no se cierran completamente después de que se elimina la carga. Bajo cargas repetidas, la resistencia friccional disminuye y produce un deterioro de la rigidez del mecanismo de adherencia.

Las consecuencias del deterioro de adherencia en un área de momento constante no son serias, ya que solamente afectan la rigidez de anchos de las grietas. El comportamiento de la zona de anclaje bajo carga repetida es mucho más importante, debido a que puede afectar la resistencia.

Durante los sismos pueden ocurrir cedencia alternada en tensión y compresión en una sección crítica, tal como en una entrecara de una junta columna - viga. La pérdida gradual de adherencia puede significar una penetración de la cedencia a la zona de anclaje, disminuyendo drásticamente la longitud de desarrollo efectivo, disponible para absorber la resistencia de cedencia de la varilla.

2.2.7 LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA UTILIZABLE POR ADHERENCIA.

Tradicionalmente se ha determinado el rendimiento de adherencia de distintas varillas de refuerzo, empotradas en concreto de distintas resistencias, mediante pruebas de extracción. Generalmente, las varillas se extrajeron del concreto que las rodeaba, de tal manera que también se indujera compresión transversal contra ellas. Esta compresión transversal tenía

un efecto benéfico en la resistencia por adherencia y, por tanto, no fue típica de los casos que se encuentran en las estructuras, razón por la cual se han propuestos distintas formas de probetas de prueba para eliminar la compresión transversal. En la figura 12 se ilustran arreglos representativos de prueba. En estas pruebas, la resistencia por adherencia se expresa en términos del esfuerzo promedio de adherencia desarrollado por la fuerza de extracción alrededor de la superficie ahogada. Se sabe que los valores de esfuerzo de adherencia pico, que se ha determinado en algunos estudios, exceden bastante el esfuerzo medio.

Las pruebas de extracción (fig. 12a, a 12e) no son típicas de los casos que se encuentran en las vigas, ya que los principales parámetros que afectan la adherencia en las vigas de concreto reforzado son las fuerzas cortantes y las grietas diagonales consecuentes, el recubrimiento de concreto y las grietas de fisuración iniciadas por la acción de dovela. En consecuencia, se han propuesto otras formas de disposiciones de pruebas (fig. 12f). El comité 408 del ACI ha preparado una guía detallada para determinar la resistencia por adherencia en las probetas de viga. Este documento permite mayor flexibilidad en la aplicación estándar relevante del ACI.

Pocas veces la resistencia por adherencia utilizable es una fracción dada de la resistencia por adherencia última, desarrollada en una prueba específica de extracción. Por lo general, el deslizamiento en el extremo cargado o descargado de la varilla gobierna la intensidad de adherencia "crítica" que se puede desarrollar bajo condiciones de carga de servicio, ya que este deslizamiento afecta los anchos de las grietas.

En consecuencia, es importante que se determine la historia completa de la relación carga - deslizamiento cuando se realice una prueba de éste tipo.

El deslizamiento en el extremo cargado de una varilla empotrada esta gobernado principalmente por la concentración de esfuerzos de adherencia en su proximidad inmediata. Un aumento en la longitud de empotramiento y una consecuente disminución del esfuerzo de adherencia promedio tiene poco efecto en el deslizamiento en el extremo cargado antes de que exceda 0.01 pulgadas (0.25 mm).

La limitación del deslizamiento en el extremo cargado, tomada como un medio de un ancho aceptable de grieta de 0.02 pulgadas, puede fijar un límite superior a la resistencia utilizable de las varillas grandes.

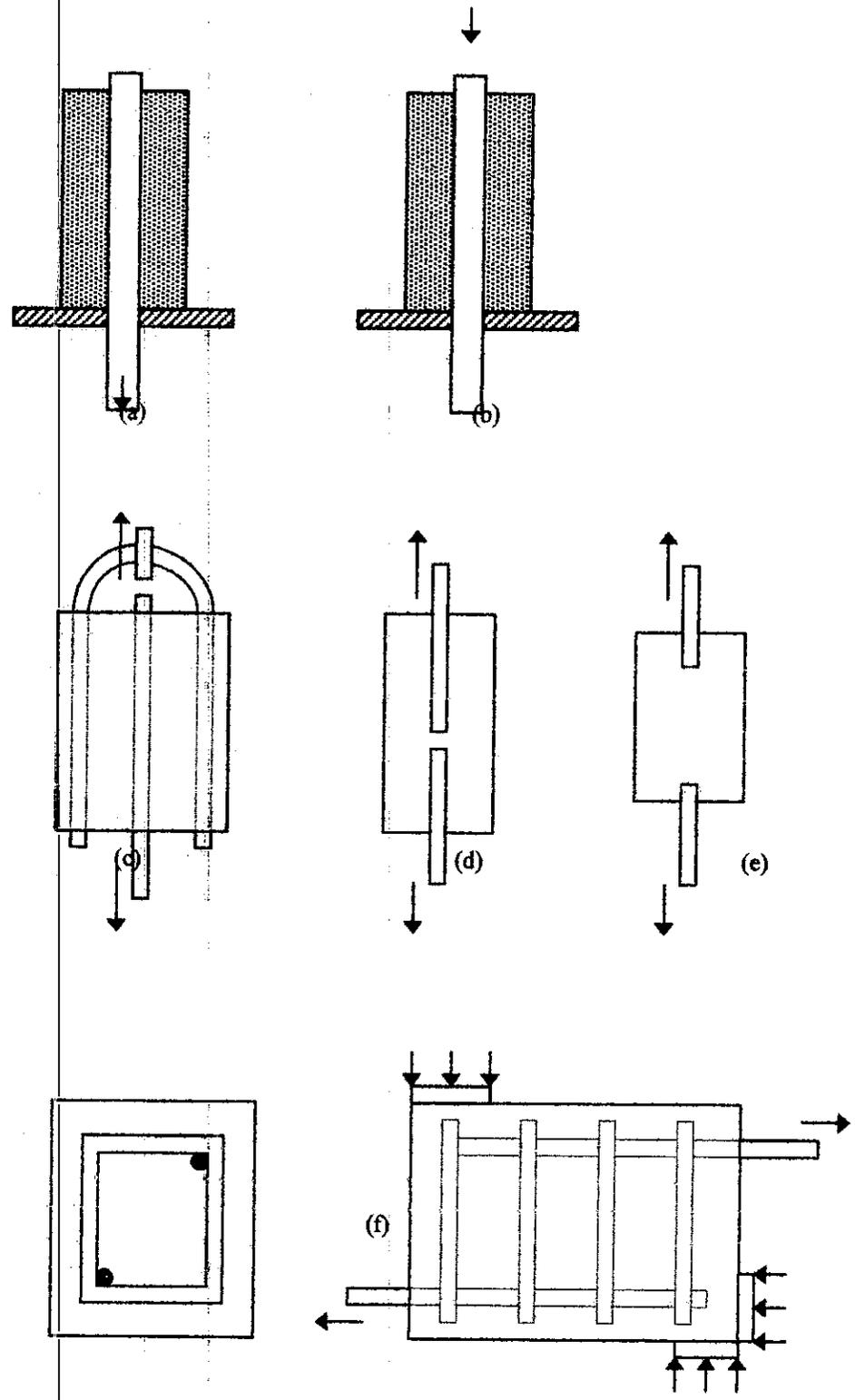


Figura 12. Distintos métodos de prueba de adherencia.

2.2.8 ANCLAJES RECTOS PARA VARILLAS CON TENSIÓN

Por lo general es posible desarrollar toda la resistencia a tensión de una varilla corrugada en una sección, supuesto que la varilla se extienda en el concreto a distancia suficiente más allá de la misma sección. A la longitud de la varilla más allá de la sección requerida para desarrollar la resistencia de la varilla se le conoce como la longitud de anclaje o longitud de desarrollo. La longitud de desarrollo es una consideración en las secciones de momento máximo a lo largo de una viga y donde se corta una varilla vecina. No siempre se puede determinar con gran precisión el punto más allá del cual se requiere una longitud de desarrollo recta. Por esta razón, se debe dar una tolerancia liberal, además del corrimiento de momento para establecer los puntos de referencia desde los cuales se deba de medir la longitud de desarrollo. La longitud l_d de desarrollo es directamente proporcional a la fuerza que se debe desarrollar e inversamente proporcional a la resistencia a tensión del concreto, ya que estos dos factores controlan la fisuración del concreto. Para varillas corrugas del núm. 5 al núm. 11 en tensión, el código del ACI indica que

$$l_d = (m_f) \frac{0.04 A_b f_y}{\sqrt{f'_c} c}$$

en donde todas las unidades están en libras y pulgadas.



El factor de modificación o de juicio m_f toma en cuenta: 1. el efecto adverso en las varillas en posición superior, 2. la resistencia de cedencia del acero superior de 60000 lb/plg², 3. la resistencia reducida del concreto con agregado ligero, 4. El efecto del recubrimiento y la separación lateral entre las varillas, 5. el uso de refuerzo de flexión excesivo en una sección y 6. el efecto de refuerzo helicoidal. (Se hacen provisiones análogas para varillas muy grandes y varillas más pequeñas que el núm. 6).

2.3.COMPARACION DE DIVERSOS SISTEMAS DE CALCULO DE LAS LONGITUDES DE ANCLAJE DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO³

El cálculo de la longitud necesaria de un anclaje, responde a una formulación matemática sencilla, si se admite la hipótesis de que las tensiones de adherencia movilizadas son constantes. La combinación de lo anterior con el estudio experimental del fenómeno, da origen a la formulación que en la actualidad predomina en las normativas de cálculo de diferentes países. Está claro que un método o unos valores numéricos, pueden resultar válidos para un país y no para otros (el acero y hormigón que se emplean son un poco diferentes según el país de que se trate); no obstante, se efectuará una comparación entre las formulaciones más importantes para el cálculo de longitudes de anclaje en prolongación recta, para barras de acero laminadas de alta adherencia, con el fin técnico de tener mas herramientas de juicio a la hora de efectuar un trabajo.

³ Tomado de: Hormigón y Acero. Fernando Rodríguez López.

En los siguientes apartes se exponen los métodos para calcular las longitudes de anclaje, en prolongación recta, de barras de acero corrugado, según el código modelo del CEB (Comité Europeo del hormigón) y las normas BAEL, DIN, CP, ACI, EH- 82, NSR - 98.

El tratamiento del tema en todos ellos es similar; se especifica una longitud básica de anclaje de barra en función del diámetro y resistencia del hormigón (calculada mediante modelos teórico - empíricos o totalmente empíricos) y luego se contemplan variaciones de esta longitud en función de diversas condiciones. Algunos de estos códigos estudian otras condiciones, como la existencia de esfuerzos normales a las armaduras, etc.

No se ha tratado tampoco el anclaje de los paquetes de barras, mallas electrosoldadas y otros asuntos, por salirse del tema de investigación.

2.3.1 LONGITUD BASICA DE ANCLAJE

Entendemos por longitud básica de anclaje aquella que responde al caso de una barra sometida a tracción, a su límite elástico de cálculo, y situada en condiciones de buena adherencia.

En general, las normativas suelen recoger esta longitud como la principal de cálculo, afectándola de coeficientes según nos apartemos de las condiciones en que se ha definido.

TRATAMIENTO SEGÚN CEB - FIB 1978.

El concepto de longitud básica de anclaje para este código se define a partir de la condición de equilibrio de la barra embebida en el hormigón, llegando a una expresión:

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}}$$

donde f_{bd} es el valor límite de la tensión de adherencia, cuyo valor resulta:

- Barras lisas:

$$f_{bd} = \frac{1.14}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}}, \text{ en Kp / cm}^2$$

- Barras corrugadas:

$$f_{bd} = \frac{2.25}{\gamma_c} f_{ctk 0.05}, \text{ en Kp / cm}^2$$

donde:

$$f_{ctk 0.05} = 0.45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}, \text{ en Kp / cm}^2$$

$f_{ctk 0.05}$ = valor de la resistencia a tracción del hormigón, asociado a un nivel de confianza del 95 por 100.

TRATAMIENTO SEGÚN ACI - 318- 83.

Las formulas que propone esta norma fueron las mismas adoptadas en el código colombiano de construcciones sismoresistentes de 1984 (C.C.S.R. - 84.) y dan valores de la

longitud básica de anclaje, en función de las resistencias del hormigón y del acero, para distintos diámetros.

- Barras corrugadas con $\phi \leq 36$ mm:

$$\text{Acero } f_{yk} \leq 4220, l_b = 0.06 A_b \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}} \leq 0.006 f_{yk} \phi$$

$$\text{Acero } f_{yk} > 4220, l_b = 0.06 A_b \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}} \left(2 - \frac{4220}{f_{yk}}\right) \leq 0.006 f_{yk} \phi \left(2 - \frac{4220}{f_{yk}}\right)$$

- Barras corrugadas con $\phi = 43$ mm:

$$\text{Acero } f_{yk} \leq 4220, l_b = 0.82 * \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}}$$

$$\text{Acero } f_{yk} > 4220, l_b = 0.82 * \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}} \left(2 - \frac{4220}{f_{yk}}\right), \text{ unidades en Kp y cm}$$

- Barras corrugadas con $\phi = 57.3$ mm:

$$\text{Acero } f_{yk} \leq 4220, l_b = 1.11 * \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}}$$



$$Acero f_{yk} > 4220, l_b = 1.11 * \frac{f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}} \left(2 - \frac{f_{yk}}{4220} \right), \text{ unidades en Kp y cm}$$

TRATAMIENTO SEGUN CP- 110- 1980

El concepto de longitud básica de anclaje, coincide en su formulación con el del CEB- FIB, aunque con algunas matizaciones. En primer lugar utiliza valores de tensión ultima de adherencia de anclaje, diferentes de los que se utilizan como limite de comprobación de adherencia. En segundo lugar, incluye la diferenciación importante entre el anclaje de una barra trabajando a tracción o a compresión, del orden de un 25 por 100 superiores a los correspondientes al de tracción: lo que en consecuencia, da lugar a menores longitudes de anclaje en compresión.

De lo especificado en la norma se deduce que:

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 \tau_{bd}}$$

Los valores de τ_{bd} , en Kp/ cm², se indican en la tabla siguiente.

Tipo de barra (*)	Esfuerzo	F _{ck} (Kp/cm ²)			
		200	250	300	400
Deformada en frío	Tracción	17	19	22	26
Deformada en frío	Compresión	21	24	27	32
Dureza natural	Tracción	22	25	29	34
Dureza natural	Compresión	27	31	35	42

(*) La diferenciación entre acero estirado en frío y de dureza natural puede ser debida a diferencias en el corrugado.

Como regla simplificada esta norma incluye el valor: $l_b = 42 \cdot \phi$.

TRATAMIENTO SEGÚN DIN-1045- 1978.

Análogamente a las normas Europeas, la Alemana da una expresión de la longitud básica de anclaje, basada en el equilibrio tensorial (unidades en Kp/cm²):

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 \nu \tau_{1,adm}}$$

Donde:

ν : coeficiente de valor 1.75

$\tau_{1,adm}$: Valor limite de la tensión media de adherencia en anclaje (véase en la tabla siguiente para un tipo de acero semejante al usado en España).

$F_{ck}(\text{Kp/ cm}^2)$	150	250	350	450	550
$\tau_{1,adm.} (\text{Kp/ cm}^2)$	14	18	22	26	30

Una matización importante que introduce esta norma es la modificación de la tensión de adherencia de anclaje, según el tiempo de duración de las cargas:

- Para cargas no predominantemente en reposo, según lo especificado en DIN 1045, los valores de la tabla pueden modificarse por un coeficiente de minoración de 0.85.
- Para cargas móviles, en sucesión frecuente, se minoraran los valores de la tabla por un coeficiente:

$$\lambda = 1 - 0.6 * \frac{\Delta\sigma}{\sigma_{s, min.}}$$

menor o igual a 0.5

mayor o igual a 0.85.

TRATAMIENTO SEGÚN BAEL - 83.

La norma francesa tipifica dos métodos, uno general y otro simplificado, para el cálculo de la longitud básica de anclaje. El método general está basado en condiciones de equilibrio y da un valor de la longitud básica de anclaje l_b igual a (unidades en Kp y cm):



$$l_b = \frac{\phi f_{yk}}{4 \tau_s}$$

siendo:

$$\tau_s = \text{tensión de adherencia} = 0,6 \psi_s^2 f_{ij}$$

ψ_s = coeficiente que depende del tipo de acero, de valor:

-1 para barras lisas

- valor que corresponde al de la ficha de identificación, para las barras corrugadas

f_{ij} = resistencia a tracción del hormigón a j días.

Tomando un valor medio de $\psi_s = 1.5$ y f_{c28} para el hormigón, esta norma da los siguientes

valores para τ_s :

$F_{c28}(Kp/cm^2)$	200	250	300	350
τ_s	24	28	32	36

El método simplificado, da los siguientes valores para la longitud de anclaje:

40 ϕ para aceros de alta adherencia ($\psi_s \geq 1.5$) y $f_{yk} = 4000 Kp/cm^2$.

50 ϕ para aceros de alta adherencia ($\psi_s \geq 1.5$) y $f_{yk} = 5000 Kp/cm^2$.

50 ϕ para aceros lisos de $f_{yk} = 2200 Kp/cm^2$ y $f_{yk} = 2000 Kp/cm^2$.

TRATAMIENTO SEGÚN EH - 82.

El concepto de longitud básica de anclaje, no figura como tal en la actual edición de la norma. Dentro de sus comentarios, establece el concepto de longitud de anclaje recto (con

la misma formulación que la vista en el código del CEB - FIB) y, ya dentro de su articulado, el de longitud practica de anclaje. La propia norma comenta que este ultimo concepto se basa en la experimentación realizada con motivo de la homologación de las características adherentes d las barras fabricadas en España. No existe una formulación de estas longitudes; en la edición de 1973 existía una tabulación, pero en el comentario se aportaban formulas practicas para la obtención de los valores, aunque en la actualidad ya no sirve por haberse modificado algunos valores.

La norma da una tabla de coeficientes m, en función de las características resistentes del acero y del hormigón, que aplicados en la formula (unidades en Kp y cm):

$$l_b = m \frac{f_{yk}}{200} \phi < 15\text{cm}$$

Dan valores de las longitudes practicas de anclaje en prolongación recta.

Los valores de m son los siguientes:

Hormigón	Valores de m (cm ⁻¹)		
	AEH - 400	AEH - 500	AEH - 600
H - 150	18	-	-
H - 175	16	21	-
H - 200	14	19	23
H - 225	13	17	21
H - 250	12	15	19
H - 300	10	13	17
H - 350	9	12	16
H - 400	8	11	15
H - 500	7	10	14

2.3.2 LONGITUD MÍNIMA DE ANCLAJE.

A los valores de las longitudes básicas de anclaje se les afecta de unos coeficientes de mayoración o minoración, función de los factores que influyen en la longitud real de anclaje y que se verán posteriormente. La longitud final debe cumplir unas condiciones de mínimo, que es contemplado por las diferentes normas de la siguiente manera:

NORMA	LONGITUD MÍNIMA ($l_{b \text{ min.}}$)
CEB-FIB-78	Barras a tracción: no menor que $0.3 l_b$, 10ϕ ó 10cm. Barras a compresión: no menor que $0.6 l_b$, 10ϕ ó 10cm.
ACI 318-83	Barras a tracción: no menor 30.5 cm, 12ϕ ó d. Barras a compresión: no menor que 20.3cm, 12ϕ ó d.
CP 110-80	Mayor o igual a l_b , 12ϕ ó b
DIN 1045-78	Nunca menor que 10ϕ ó $0.3 l_b$
BAEL-83	Nunca menor que 10ϕ
EH- 82	Nunca menor que $0.3 l_b$, 10ϕ ó 15 cm

Siendo:

l_b = Longitud básica de anclaje

ϕ = diámetro de la barra

b = ancho de la sección

d = canto útil de la sección

2.3.3 FACTORES QUE MODIFICAN LA LONGITUD REAL DE ANCLAJE.

2.3.3.1. POSICIÓN DE LAS BARRAS.

La normativa existente sobre este tema es en general coincidente.

La influencia de este factor esta relacionada con el espesor y posición de las armaduras dentro de las piezas. En el caso de una barra horizontal, una capa formada por una mezcla débil de cemento, aire y agua, tiende a depositarse bajo la barra, en especial si ésta está en la parte alta de la pieza hormigonada. El efecto es mucho menos importante en barras que al ser hormigonadas estaban a mucha profundidad bajo la superficie del hormigón fresco. También investigaciones recientes parecen indicar que este efecto es menos importante, cuando debajo de la barra considerada hay otras horizontales, así como es el caso de barras verticales. En el caso de una barra vertical, bajo los resaltos se producirá una segregación de aire y agua, análoga al de una barra horizontal: aunque es muy distinta al caso de estar horizontal.

A continuación se muestra lo que estipulan las diferentes normas:

CEB - FIB 1978

Una barra está en posición de buena adherencia:

- Cuando el espesor de la pieza, en el sentido del hormigonado, es menor de 25 cm.
- Cuando siendo el espesor mayor de 25 cm, se encuentra en la mitad inferior o a más de 30 cm de la cara superior.
- Cuando su inclinación con respecto a la horizontal, en el momento del hormigonado, esté comprendida entre 45° y 90°.

Cuando se cumpla lo anterior, no hay que modificar la longitud de anclaje. En caso contrario, la norma toma como longitud de anclaje, l_{bd} .

$$l_{bd} = \frac{l_b}{0.7}$$

ACI - 318 - 83

Esta norma incluye un coeficiente de mayoración de la longitud de anclaje, cuando la barra dista más de 30.5 cm de la superficie de hormigonado. En este caso:

$$l_{bd} = 1.4 * l_b$$

Observese que este valor es análogo al que estipula el código modelo europeo, pues:

$$\frac{1}{1.4} \approx 0.7$$

CP-110-1980

No tipifica nada en este sentido

DIN 1045-1978

La disposición es análoga a la del Código Modelo del CEB, aunque matiza algo más. Los 30 cm deben referirse a cada capa de hormigonado. Se debe mayorar siempre la longitud de



anclaje de barras horizontales hormigonadas con encofrado deslizante. El coeficiente de mayoración que emplea es igual a dos. Barras en posición mala de adherencia $l_{bd} = 2 l_b$.

BAEL-83

No tipifica nada en este sentido

EH-82

La normativa es análoga a la del CEB-FIP, aunque el coeficiente de mayoración es 0.4 (ya se ha visto que $1/0.7 = 1.4$).

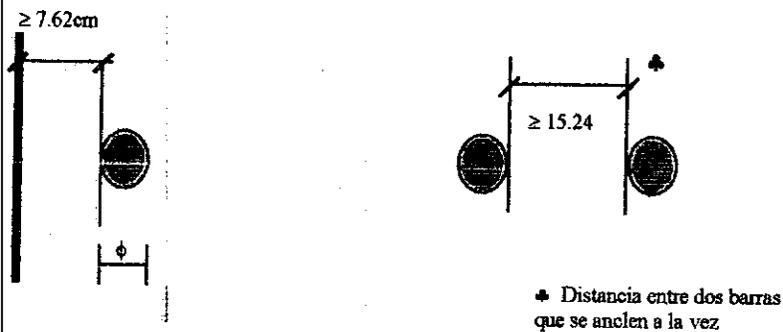
2.3.3.2. INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO

CEB-FIP-1978

Este código no hace referencia a este aspecto, salvo en el caso de barras con $\phi \geq 32$ para las que exige un espesor mínimo de pieza. En cuanto al anclaje curvo, el recubrimiento actúa solamente en cuestiones de comprobación de compresiones excesivas sobre el hormigón, en puntos de la curva de anclaje.

ACI-318-83

Para las barras sometidas a tracción, esta Norma permite la reducción de la longitud de anclaje en los casos siguientes:



El coeficiente de reducción es 0,8 y actúa simultáneamente con el resto de coeficientes. Sin embargo, no actúa para el caso de barras comprimidas.

Si se trata de un anclaje por gancho, como hemos dicho anteriormente, cambia la expresión de la longitud básica, actuando un coeficiente:

0,7 para el caso de ganchos con un recubrimiento lateral superior a 6,35 cm.

0,7 para el caso de patilla (codo de 90') con recubrimiento lateral superior a 6,35 cm y frontal superior a 5,1 cm.

CP-1 10-1 980

El recubrimiento sólo influye en el cálculo de las compresiones, producidas por el empleo de ganchos o anclajes curvos, sobre el hormigón.

DIN 1 045-1 9 78

Cuando existe un recubrimiento, en todas las direcciones, mayor de 10ϕ , esta Norma permite reducir las longitudes de anclaje a los $2/3$ de su valor, salvo en el caso de anclajes en apoyos y en los solapes:

$$l_{bd} = \frac{1}{1.5} l_b = \frac{2}{3} l_b$$

Este coeficiente es simultáneo con los otros que corresponda utilizar

BA EL-83

Al igual que en la Norma Inglesa, el recubrimiento se tiene en cuenta en el cálculo de las compresiones sobre el hormigón, producidas por el empleo de ganchos o anclajes curvos.

EH-82

Con relación al recubrimiento, la Norma Española no hace referencia en cuestiones de anclaje. En su comentario señala la conveniencia de que, cuando se ancle por gancho o patilla, ésta se incline hacia el interior del hormigón, con el fin de que quede más embebida.

2.3.3.3. INFLUENCIA DEL SIGNO DEL ESFUERZO

CEB- FIP- 1978

Salvo en algunas matizaciones que ahora veremos, este Código no distingue entre el anclaje de una barra traccionada y el de una barra comprimida. Los aspectos en que se diferencian son:

Los ganchos y patillas no actúan como sistema de anclaje en barras comprimidas.

La longitud mínima de anclaje, una vez aplicados todos los coeficientes, es

$$l_{\min} = 0.6l_b \text{ no menor de } 10\phi \text{ y no menor de } 10\text{cm}$$

siendo la correlación, con los valores correspondientes a una barra traccionada, función del diámetro f_{yk} y f_{ck}

CP-110-1980

Para las barras en compresión, esta Norma admite valores de la tensión de adherencia en anclaje, un 25 por 100 superiores con respecto a las barras traccionadas. Además, como el valor límite de la tensión de compresión en una barra es $0,72 f_y k$, todo ello nos lleva a unas longitudes de anclaje de barras comprimidas, del 68 por 100 de los valores correspondientes a barras traccionadas.

DIN 1045-1978

Esta Norma no introduce cambios en la longitud básica de anclaje para el uso de barras comprimidas. Hace constar la no posibilidad de emplear ganchos cuando se anclan barras a compresión.

BA EL-83

La longitud básica de anclaje correspondiente a una barra comprimida es el 60 por 100 de la correspondiente a una barra traccionada.

EH-82

En ediciones anteriores de la Norma se hacía referencia a barras permanentemente comprimidas. En la actualidad no considera el signo del esfuerzo que actúa, con relación al anclaje.

2.3.3.4 INFLUENCIA DEL EXCESO DE CUANTÍA DE ACERO

Con relación a este factor, el tratamiento según la mayoría de las normativas, es análogo.

La influencia queda determinada por un coeficiente:

$$\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$$

Siendo:

$A_{s,cal}$: sección de armaduras estrictamente requerida por el cálculo.

$A_{s,ef}$: sección de armaduras efectivamente previstas.

Este factor figura en todas las Normas que estamos estudiando, salvo en la CP-110. 1980.

2.3.3.5 RESUMEN Y COMENTARIOS

Se han expuesto con anterioridad los métodos para calcular las longitudes de anclaje, en prolongación recta, de barras de acero corrugado, según el Código Modelo del CEB (Comité Europeo del Hormigón) y las Normas BAEL, DIN, CP, ACI y EH-82.

El tratamiento del tema en todos ellos es similar se especifica una longitud básica de anclaje de la barra, en función del diámetro y resistencia del hormigón (calculada mediante modelos teórico-empíricos o totalmente empíricos) y luego se contemplan variaciones de esta longitud, en función de diversas condiciones. Algunos de estos Códigos estudian otras condiciones, como la existencia de esfuerzos normales a las armaduras, etc. No se ha tratado tampoco el anclaje de los paquetes de barras, mallas electrosoldadas y otros asuntos, por estar fuera del alcance de este trabajo.

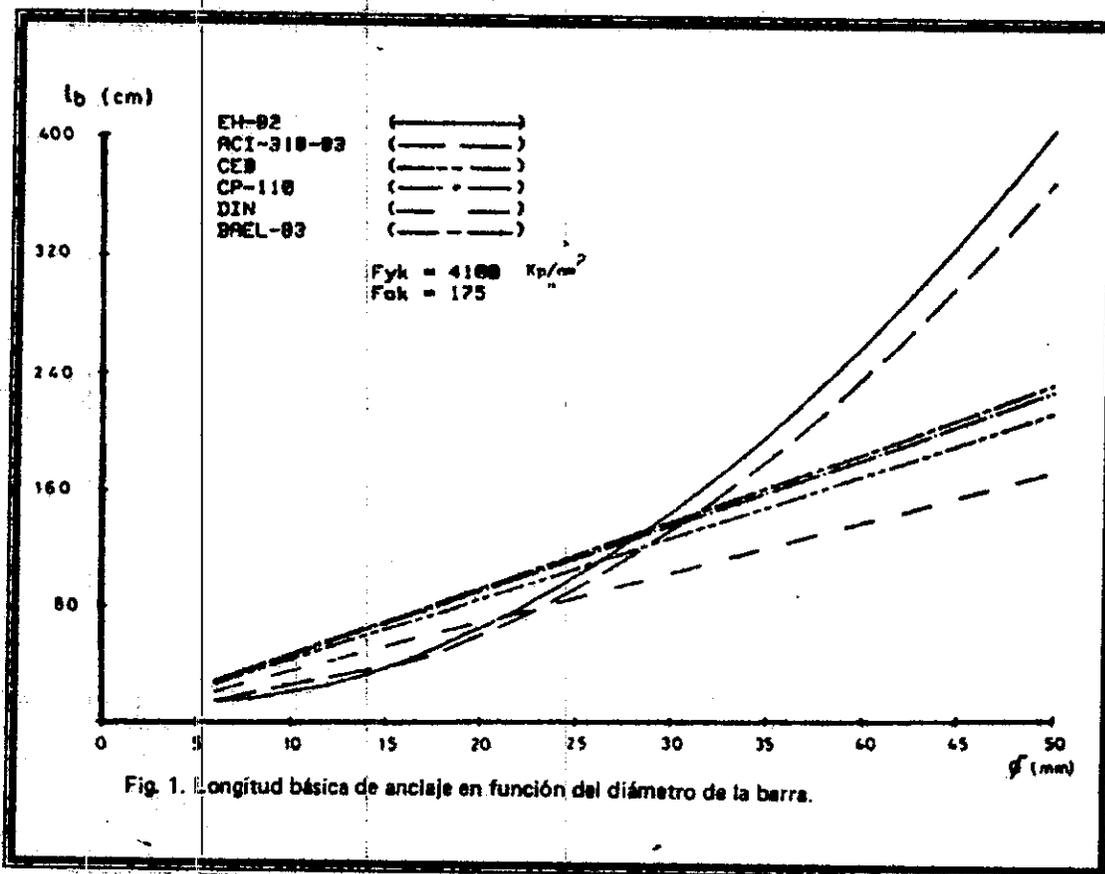


Fig. 1. Longitud básica de anclaje en función del diámetro de la barra.

Fig 13 Longitud básica de anclaje en función de los diámetros de las barras

En las figuras 13 y 14 se ha representado la longitud básica de anclaje dada por los códigos estudiados, en función del diámetro de la barra, para diversas calidades del hormigón y en las figuras 14 y 15 se ha presentado la longitud básica de anclaje, en función de la calidad del hormigón, para diferentes diámetros.

Se va a realizar una comparación entre los valores ofrecidos por la Instrucción EH-82 y las otras Normas.

A la vista de las figuras núms. 13 y 14 se desprende que la Instrucción EH-82 (así como la Norma ACI), al tener una ley de la longitud básica de anclaje que es proporcional al cuadrado del diámetro, en lugar de ser proporcional al diámetro como sucede en el Código Modelo y Normas BAEL, CP-110 y DIN, da una longitud inferior a la de estos códigos para diámetros pequeños, y superior para diámetros grandes. Esto se intenta solucionar dando unas longitudes mínimas para los diámetros pequeños. Sin embargo, y como se deduce de las figuras núm. 14 y 15, para la práctica totalidad de las resistencias del hormigón, sigue ocurriendo que, en los diámetros pequeños y medianos, las longitudes básicas de anclaje dadas por la EH-82 son inferiores a las dadas por las Normas CM-CEB, BAEL, CP-110 y DIN. EH-82 da unas longitudes prácticamente coincidentes con las de la Norma ACI.

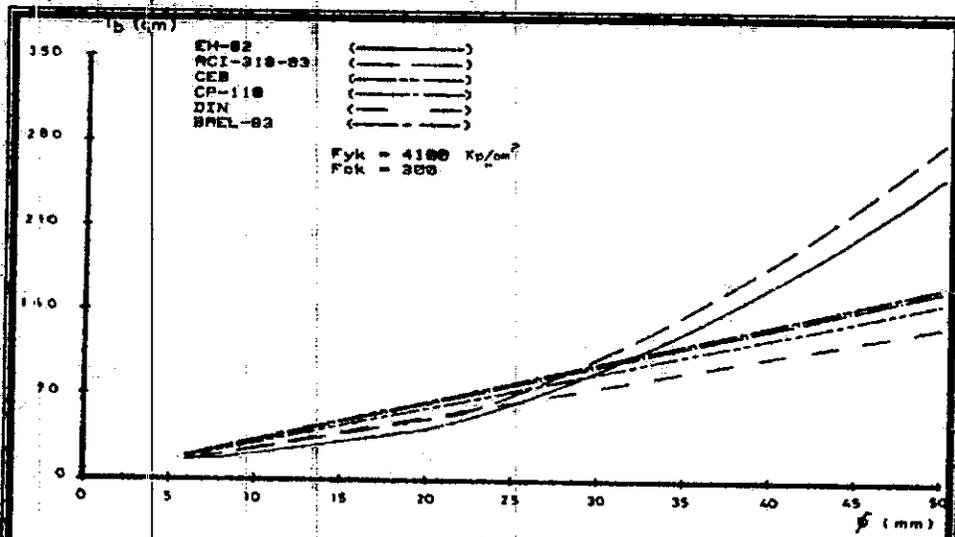


Fig. 2. Longitud básica de anclaje en función del diámetro de la barra.

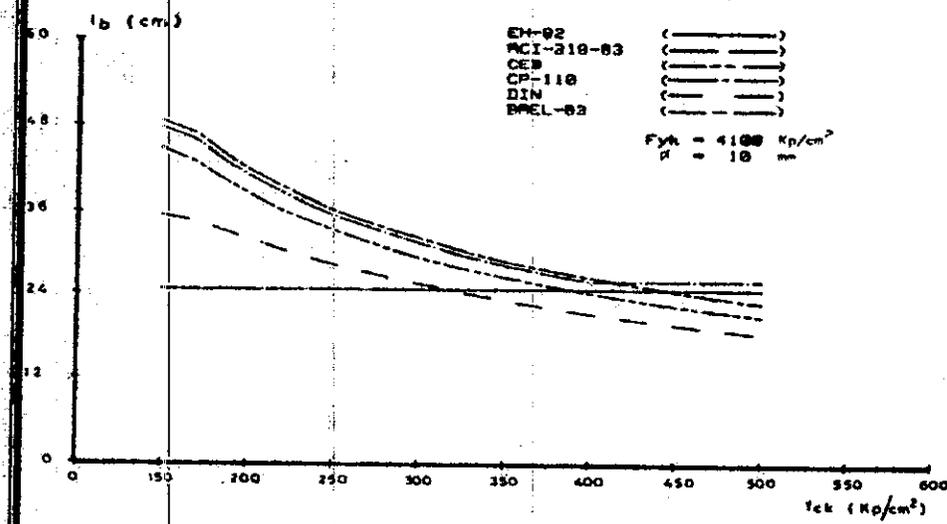


Fig. 3. Longitud básica de anclaje en función de la resistencia del hormigón.

Fig 14 Longitud básica de anclaje en función del diámetro de la barra y la resistencia del hormigón

La experiencia de laboratorio demuestra que las longitudes de anclaje dadas por la Instrucción EH-82, para diámetros pequeños e incluso medianos, están muy ajustadas;

además, estos diámetros son susceptibles de presentar dispersiones en la Geometría de su corrugado, agravando más el problema.

Para diámetros grandes ($\phi > 25$ mm) los valores dados por EH-82 son superiores a la media de las Normas estudiadas, si bien el pequeño uso en nuestro país de dichos diámetros y el carecer de una amplia experiencia de laboratorio sobre la adherencia de los diámetros grandes, hace que no pueda evaluarse la diferencia.

Respecto a las correcciones de la longitud básica de anclaje en función de diversas condiciones, el tratamiento de la EH-82 es similar al de las otras Normas estudiadas. El único aspecto importante que no trata, es el del signo del esfuerzo, exigiendo las mismas longitudes de anclaje, en prolongación recta, para barras sometidas a tracción y compresión, mientras que otras Normas permiten una reducción importante de la longitud de anclaje en el caso de barras sometidas a compresión.

Como resumen final del método de cálculo de las longitudes de anclaje de la EH-82, respecto a las demás Normas estudiadas, podemos hacer los siguientes comentarios:

-Para diámetros pequeños ($\phi < 12$ mm) da unos valores inferiores a las otras Normas (aunque semejantes a los de ACI), demostrando además la experiencia de laboratorio que estos valores están muy ajustados.

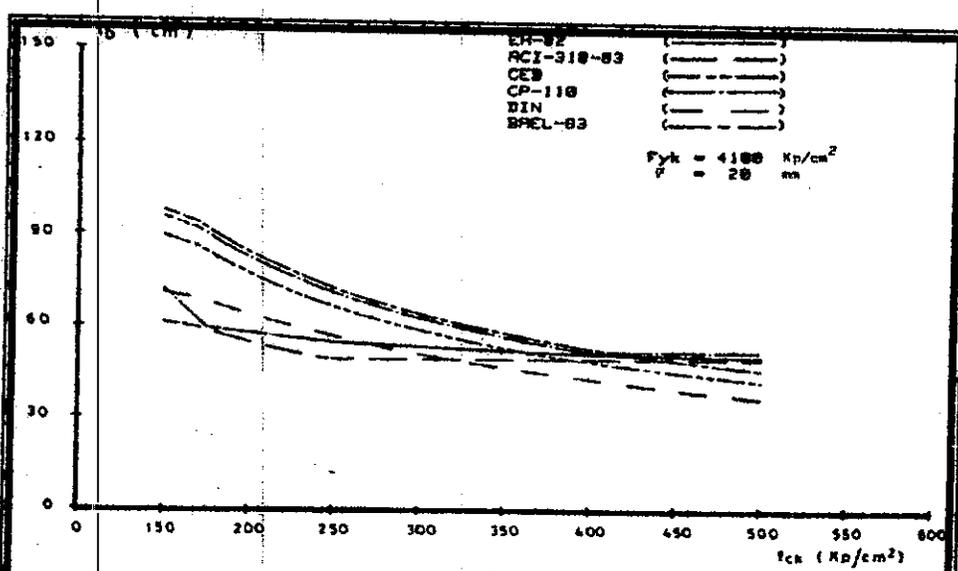


Fig. 4. Longitud básica de anclaje en función de la resistencia del hormigón.

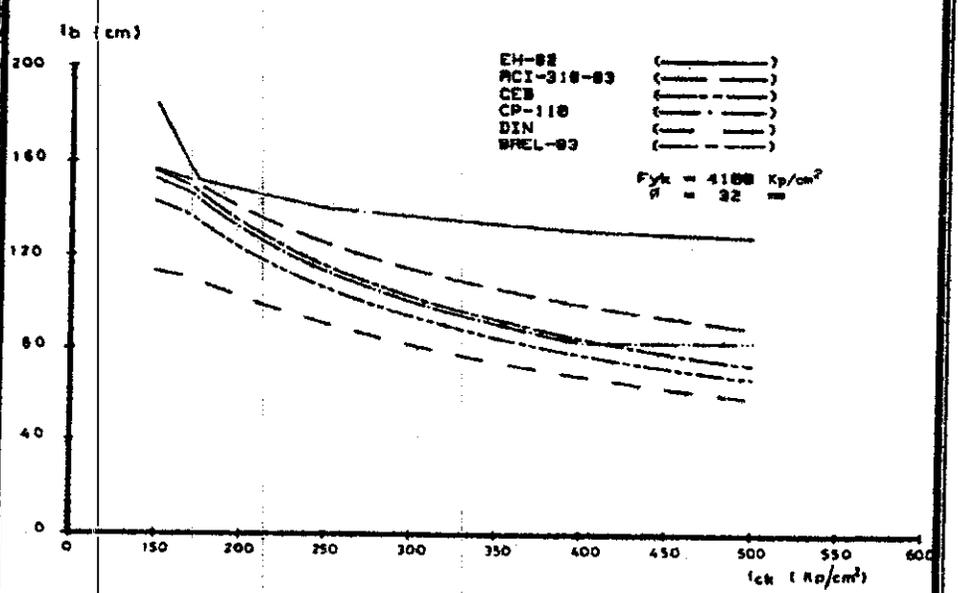


Fig. 5. Longitud básica de anclaje en función de la resistencia del hormigón.

Fig 15 Longitud básica de anclaje en función de la resistencia del hormigón.

2.3.4 COMENTARIOS SOBRE LAS DISPOSICIONES SOBRE DESARROLLO Y ANCLAJES DE LA NORMA COLOMBIANA DE CONSTRUCCIONES SISMORESISTENTES (NSR-98)*

La nueva norma colombiana en su capítulo C. 12 expone que la relación entre la longitud básica de desarrollo y el diámetro de la barra (l_d / d_b), debe calcularse de la siguiente manera:

	Barras N° 6 (3/4") ó 20M (20 mm) o menores, y alambre corrugado	Barras N° 7 (7/8") ó 22M (22 mm) y mayores
Separación libre entre barras, que se desarrollan o empalman, mayor o igual a d_b , recubrimiento libre mayor o igual a d_b , y estribos a lo largo de l_d cumpliendo el mínimo requerido.	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta}{25 \sqrt{f'_c}} (*)$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3 f_y \alpha \beta}{5 \sqrt{f'_c}} (*)$
o separación libre entre barras, que se desarrollan o empalman, mayor o igual a $2d_b$, y recubrimiento libre mayor o igual a d_b .		
Otros casos (separación mínima entre barras según C.7.6.1, recubrimiento mínimo según C.7.7 y sin estribos mínimos)	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18 f_y \alpha \beta}{25 \sqrt{f'_c}} (*)$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y \alpha \beta}{10 \sqrt{f'_c}} (*)$

Tabla 6 Relación l_d/d_b según NSR- 98

* Notas de los autores

En esta tabla se observa la similitud con las normas anteriores teniendo en cuenta los siguiente factores:

α es un coeficiente relacionado con la localización de la barra y es igual a:

1.3 para refuerzo horizontal colocado de tal manera que haya mas de 300 mm de concreto en el momento de vaciar el concreto, debajo de la longitud de desarrollo o empalme.

1 para otro refuerzo.

β es un coeficiente relacionado con el tipo de superficie del refuerzo:

1.5 para barras de refuerzo o alambres con recubrimiento epoxico, con recubrimiento menor que $3d_b$ o separación libre entre barras menor que $6d_b$.

1.2 para todos los casos de barras y alambres con recubrimiento epoxico.

1 para barras y alambres sin recubrimiento epoxico.

γ representa un coeficiente de escala relacionado con el diámetro de la barra y toma valores de:

0.8 para barras número 6 o menores

1 para barras número 7 o mayores.

La NSR 98 también contempla la reducción de la longitud de anclaje cuando el refuerzo de un elemento es mayor del que se requiere. El factor de reducción viene dado por la relación entre el área de acero requerida y el área de acero suministrada.

En cuanto al diseño de anclajes al concreto la NSR 98 contempla que para el diseño de anclajes de tornillos o pernos con cabeza se pueden utilizar el método de esfuerzos de trabajo o el método de la resistencia ultima.



La norma permite obtener la resistencia de los anclajes por métodos experimentales siempre y cuando se realicen no menos de 10 ensayos experimentales utilizando los materiales, la configuración tipo de anclajes, distancia al borde, platinas de base y cargas a emplear en la obra. De forma analítica la resistencia de diseño a la tracción de anclajes individuales o de conjuntos adecuadamente conectados debe ser la mínima de ϕP_{ns} o ϕP_{nc} donde:

$$- \phi P_{ns} = \phi A_b f_s n, \phi = 0.9,$$

A_b = Área vástago de tornillo o perno en mm^2 .

f_s = Resistencia del acero del perno y

n = número de anclajes en el grupo.

Para anclajes individuales o grupos de anclajes separados individualmente dos veces su longitud anclada y al menos separados una vez esta misma distancia del borde:

$$\phi P_{nc} = \phi 0.23 \sqrt{f_c} A_s n,$$

$\phi = 0.65$ si el anclaje no está confinado o 0.85 si el anclaje está confinado.

f_c = Resistencia a la compresión de concreto

A_s = Área en mm^2 del plano de la superficie inclinada de falla para anclajes individuales.

Se supone un tronco de cono cuyos lados tienen una inclinación de 45° desde la cabeza del anclaje hasta la superficie libre del concreto.

n = número de anclajes.

Para grupos de anclajes que no cumplen la condición anterior

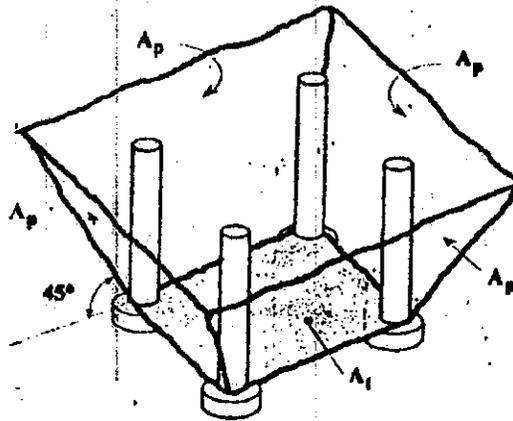


Fig.16 Pirámide troncada de falla para un grupo de anclajes con cabeza.

$$\phi P_{nc} = \phi \sqrt{f_c} (0.23 A_p + 0.33 A_t)$$

2.4 ANCLAJES MECANICOS PARA CONCRETO³

2.4.1 TIPOS DE ANCLAJES MECÁNICOS.

Existen tres tipos o estilos de anclajes mecánicos, así:

1. Rosca externa o anclaje macho. Estos anclajes son el de cuña o trubolt. De manga o Dynabolt y anclaje de espárrago o Stud.
2. Rosca interna o anclaje hembra. Estos anclajes son el Multi-Set II o Drop-in, autopercorante o Self-Drill y no perforante o Non-Driling Anchor.
3. Anclajes autoroscantes, este es el anclaje Tapcon.

2.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE ANCLAJES.

Aunque hay un número de factores que pueden afectar el esfuerzo a corte y el desempeño en la tensión de un anclaje mecánico, hay cuatro factores que influyen en todos los anclajes así:

1. Resistencia del concreto a la compresión
2. Diámetro del anclaje
3. Empotramiento del anclaje
4. Distancia entre anclajes y al borde del material

³Tomado del Manual Técnico de Productos de Ramset Red Head

2.4.2.1 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN

La fuerza del concreto a la compresión medida en libras por pulgada cuadrada (psi), es una medida para expresar la resistencia del concreto.

En el caso de anclajes de expansión sirve para definir la capacidad de resistencia, se entiende que el rendimiento de los anclajes puede variar con la dureza del concreto, si las otras variables permanecen constantes.

Los anclajes de expansión normalmente no están sometidos a fuerzas naturales de compresión, más bien están bajo esfuerzos de corte o tensión, o una combinación de tensión y esfuerzo cortante. Típicamente, el concreto en el cual el anclaje es incrustado debe ofrecer resistencia a las fuerzas de ruptura inducidas por la tensión y por esfuerzo cortante. Usualmente, a medida que una carga de tensión es aplicada, el concreto se debilita sin que haya ninguna falla física del anclaje.

Los datos de rendimiento para anclajes de expansión se basan en concreto fraguado suficientemente por lo general obtenido durante período de cura de 28 días. La capacidad del rendimiento de un anclaje de expansión se reduce cuando es instalado en concreto "fresco". Además, el anclaje no mejora su capacidad al colocarlo en este tipo de concreto, aunque se deje allí hasta que fragüe.

El rango normal de medida del rendimiento de los anclajes de expansión está entre las 2000 psi y las 6000 psi de fuerza de compresión del concreto. Las condiciones de estos valores son especiales y deben ser evaluadas individualmente.

Para garantizar una apropiada selección del anclaje, es necesaria una evaluación previa de la calidad del concreto, tiempo y tipos de materiales con los que fue hecho. Porque estas características del concreto son muy importantes, los fabricantes de anclajes, en unión con los productores de concreto han elegido un agregado granulado de $\frac{3}{4}$ " como base de diseño. Este concreto se encuentra fácilmente disponible y ha sido evaluado de 2000 psi a 6000 psi de fuerza de compresión.

2.4.2.2 DIÁMETROS DE ANCLAJES

A mayor diámetro del anclaje, se obtiene una mayor resistencia si la fuerza de compresión del concreto permanece constante. El diámetro del orificio en el cual se coloca el anclaje no debe diferir del diámetro recomendado, puesto que no se lograría el rendimiento adecuado del anclaje.

2.4.2.3 EMPOTRAMIENTO DE ANCLAJES

Este es el factor más crítico en la evaluación del rendimiento de los anclajes. Cuando hablamos sobre el empotramiento de los anclajes, nos referimos a la mínima profundidad a

la cual el anclaje debe ser instalado para obtener los valores de carga publicados. Un anclaje instalado a menor profundidad de empotramiento no trabajará a los valores de resistencia publicados.

Hay dos factores que tienen que ser considerados:

A. Capacidad a tracción

B. Capacidad al corte

a. Capacidad a la tracción

La capacidad de tracción es la habilidad del anclaje a resistirse a fallar cuando es expuesto a esfuerzos de tensión. Las fallas ocurren por uno de tres motivos:

1. El concreto se rompe con el anclaje adherido a él.
2. El anclaje se suelta.
3. El anclaje se rompe.

La fuerza de tracción es medida por la aplicación continua de una fuerza de tensión hidráulica al anclaje, hasta que alguno de los dos, el concreto o el anclaje fallen. Esta fuerza es medida en libras. Todos los anclajes son probados en empotramiento mínimo. No obstante, los anclajes de rosca externa pueden ser colocados a diferentes profundidades, ellos son probados en empotramiento mínimo. Para anclajes de rosca interna el mínimo empotramiento es la longitud del anclaje desde el borde superior del anclaje que debe ser instalado y nivelado con la superficie de concreto.

La figura 17 nos da una idea de como trabaja la relación tracción - empotramiento.

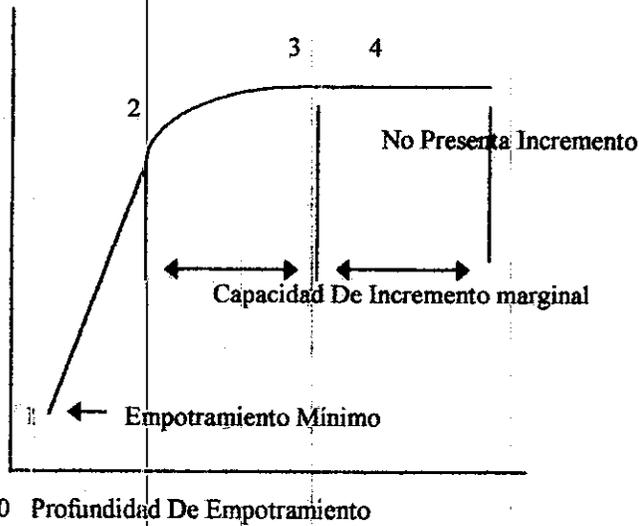


Figura 17.

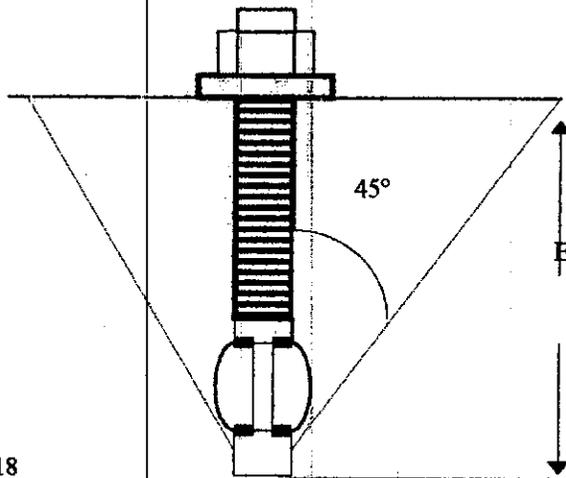


Fig. 18

En el área 1-2 de la fig. 17, se representa el empotramiento mínimo o ligeramente más profundo. Con empotramiento mínimo, el concreto usualmente falla. Las oportunidades de que esto suceda son mayores que a cualquier otra profundidad. Podemos ver la razón de que esto suceda observando la fig. 18.

Podemos ver que el anclaje expandido con un mínimo de empotramiento, produce en el concreto fuerzas resultantes, que se irradian desde el extremo del anclaje en un ángulo de 45° hasta la superficie del concreto. Con poco empotramiento, la resistencia del concreto a la ruptura es menor que la carga última de falla del anclaje y ocurre el agrietamiento en forma de cono. Con un empotramiento un poco más profundo, hasta el punto #2 en la fig. 17, la capacidad a la tensión se incrementa rápidamente, pero la resistencia del concreto permanece igual, excepto, que al fallar, el anclaje extrae un cono más grande.

El área 2-3 de la fig. 17 representa un área de mayor empotramiento, donde el anclaje puede fallar al salirse del anillo de expansión. Esto se ilustra en la fig. 19. Aunque las fuerzas resultantes se distribuyen como en la fig. 18, el anclaje puede salirse de su anillo de expansión, debido al aumento de la resistencia a la ruptura de una masa mayor de concreto. Se da un incremento de la capacidad de tensión al aumentar el empotramiento entre los puntos 2 y 3 (fig. 17), pero no tan notable como sobre la porción de la curva entre el punto 1 (empotramiento mínimo) y el punto 2.

El área 3-4 de la fig. 17 muestra un empotramiento aún más profundo que el área 2-3. Con empotramientos tan profundos, el anclaje fallaría; o por rompimiento, o por falla del anillo de anclaje. Las fuerzas se irradian totalmente en sentido horizontal, como se ilustra en la fig. 20; a esa profundidad el concreto falla muy rara vez.

Figura 19

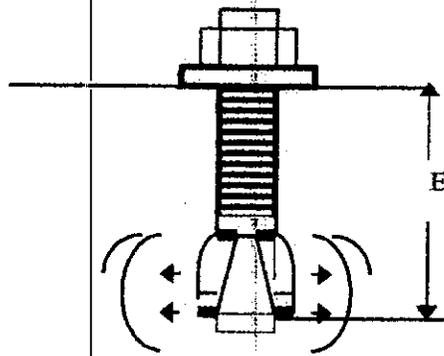
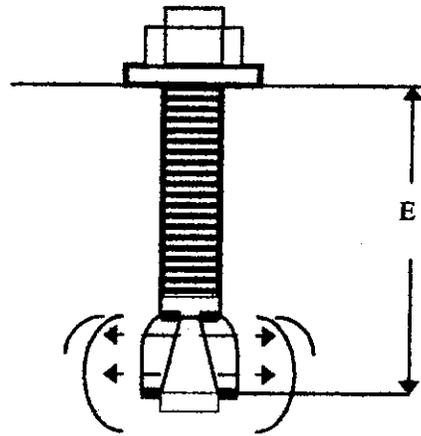


Figura 20

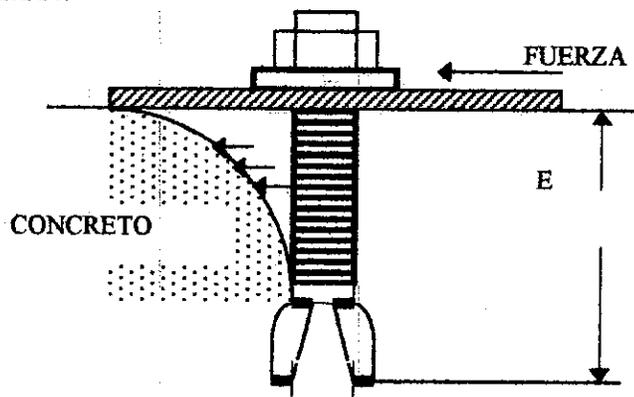


Capacidad de corte

Capacidad de corte es la capacidad del anclaje para resistir una fuerza aplicada en ángulo recto hacia el cuerpo anclado. Un dispositivo hidráulico es usado para determinar la cantidad de fuerza requerida para que falle el anclaje. Esta fuerza es medida en libras.

La figura 21 ilustra este punto.

Figura 21.



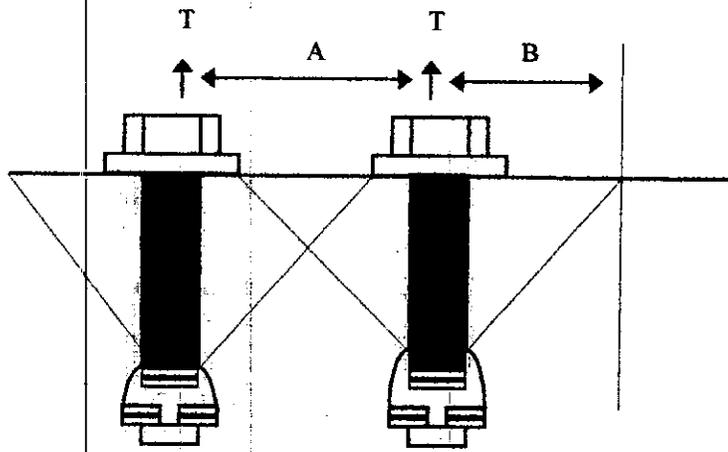
ESFUERZOS CORTANTES

Como regla incrementamos los valores de corte con un mayor empotramiento pero, los efectos no son tan significativos como en la capacidad de tracción. La resistencia del material en la parte roscada es de considerarse al aplicar esfuerzos de corte.

2.4.2.4 DISTANCIA ENTRE EJES Y DISTANCIA AL BORDE

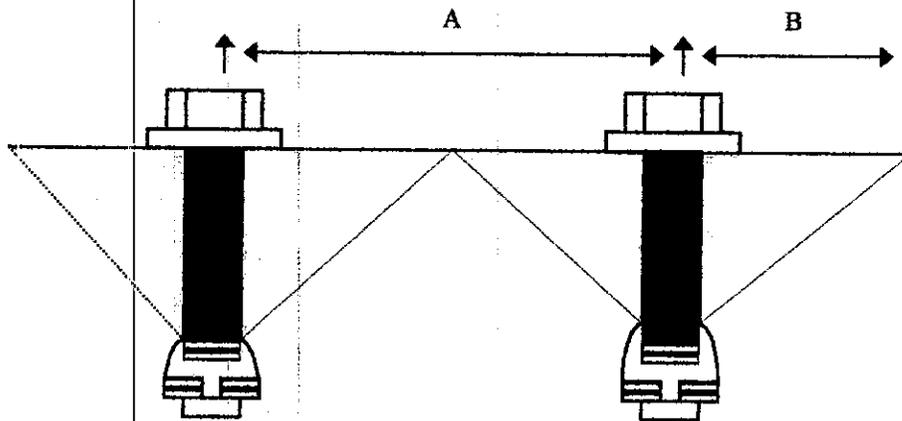
Otros factores a considerar en el desempeño del anclaje son las consideraciones de distancias. En muchos casos, múltiples anclajes son empotrados en un área dada de concreto. Al mínimo empotrado cada esfuerzo del anclaje se dará por sus propias fuerzas como observamos en la fig. 18. Si dos anclajes se colocan muy cerca entre si, la fuerza de sostenimiento de ambos anclajes disminuye acordeamente según el traslapo de las fuerzas individuales que tienen lugar.

La figura 22 muestra el espacio apropiado a un mínimo de empotramiento en el que cada anclaje pueda operar a su máxima capacidad de resistencia. Las recomendaciones de distancias buscan que ninguna fuerza de tensión ni las fuerzas de corte de cada anclaje interfieran con la de sus vecinos.



Capacidad Reducida

Figura 22.

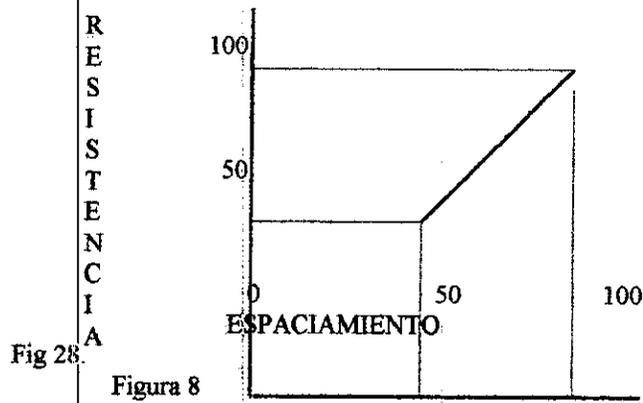


Capacidad Completa

Figura 23.

Hay una relación lineal entre la capacidad de los anclajes y el porcentaje de reducción en la distancia. bajo capacidad máxima. Reduciendo la distancia mínima recomendada de un anclaje a un 50%, se reduce la capacidad de cada anclaje en un 50%. Esto se ilustra en la fig. 24.

Con empotramiento mínimo, la distancia del anclaje al borde de una pieza de concreto debe ser suficiente para que las fuerzas diagonales tengan espacio bastante para que el anclaje trabaje a su máxima capacidad. Esto se ilustra en las figuras 22 y 23. La capacidad en relación con el espaciado es la misma en cuanto a las distancias centro a centro. Fig. 24.



2.4.2.5 FACTORES DE SEGURIDAD

En adición a los factores que afectan el desempeño del anclaje se considera oportuno esbozar lo que se conoce como factor de seguridad. Los datos publicados dan las resistencias máximas de cada tipo de anclaje. Para propósitos de diseño, el arquitecto o ingeniero debe considerar un factor mínimo de seguridad de 4:1 para todos los esfuerzos estáticos, tanto a la tensión como al corte. Esto significa que la resistencia segura de trabajo es el 25% de la resistencia final que se presenta en los datos publicados. Cuando combinamos, el esfuerzo a corte y el esfuerzo a la tracción, la fórmula de interacción es:

$$\frac{\text{Esfuerzo de tracción aplicado}}{\text{Esfuerzo de tracción permitido}} + \frac{\text{Esfuerzo de corte aplicado}}{\text{Esfuerzo de corte permitido}} \leq 1$$

Mayores factores de seguridad pueden ser utilizados dependiendo de la aplicación.

2.4.3 SELECCIÓN DE DATOS

Como seleccionar un Anclaje Mecánico

Cuando se selecciona un anclaje para una aplicación específica, hay cinco parámetros diferentes que deben tenerse en consideración para el diseño y selección del anclaje apropiado.

Estos son:

1. Material base
2. Desempeño
3. Uso
4. Instalación
5. Resistencia a la corrosión

1. Material base: Concreto, concreto liviano, bloques de concreto (hueco o sólido), etc.

Todos estos tipos de materiales afectan el desempeño y selección de anclajes. Ciertos anclajes están diseñados exclusivamente para materiales específicos.

2. Desempeño: Trabajo liviano, trabajo pesado, esfuerzo de tracción, esfuerzo cortante etc.

Para aplicaciones de trabajo liviano se seleccionan anclajes pequeños. Para aplicaciones

de trabajo pesado, anclajes más grandes. En aplicaciones de tracción, el empotramiento en el material base afecta enormemente su desempeño. En aplicaciones de esfuerzo cortante el diámetro y el material base controlan su desempeño.

3. Uso: Se determina si el uso es permanente o temporal, así como la apariencia. Para aplicaciones temporales se seleccionan anclajes removibles. Si se desea un acabado bonito se pueden utilizar anclajes de cabeza plana, cabeza redondeada y anclajes de roscas internas.
4. Instalación: A través del objeto a fijar, o ras con la superficie. Si se desea una instalación a través del objeto se necesitan anclajes de rosca externa. Para una instalación a ras, son seleccionados anclajes de rosca interna. La mayor parte del tiempo, el uso de los anclajes dictará el modo de instalación.
5. Resistencia a la corrosión: Zincado, galvanizado en caliente o en acero inoxidable. Para aplicaciones continuas en lugares cerrados o áreas donde la corrosión no es crítica, se pueden aplicar anclajes zincados.

Para una mayor resistencia a la corrosión o aplicaciones en carreteras deben usarse anclajes galvanizados. Para aplicaciones donde está presente el ambiente de corrosión, anclajes en acero inoxidable pueden ser seleccionados.

2.4.6 DATOS TECNICOS

ANCLA DE CUÑA

ANCLAJE TIPO CUÑA, CONFIABLE, INSPECCIONABLE, PARA TRABAJO PESADO

- Roscado completamente para más versatilidad.
- El diámetro del anclaje es igual al diámetro del orificio.
- Expansor de una sola pieza en acero inoxidable, resistente a la corrosión, 360° de contacto con el concreto, asegura completa expansión.
- Puede ser usado en orificios profundos que excedan la longitud del anclaje.
- Suministrado con tuerca y arandela puede ser instalado a través del objeto a fijar.
- Valores de torque inspeccionables, indicando apropiada instalación.
- Para trabajo pesado con cargas de corte o tracción.
- Disponible en acero inoxidable, acero al carbón, zincado y acero galvanizado al caliente.
- También disponibles con cabeza de ojete para amarrar alambres.

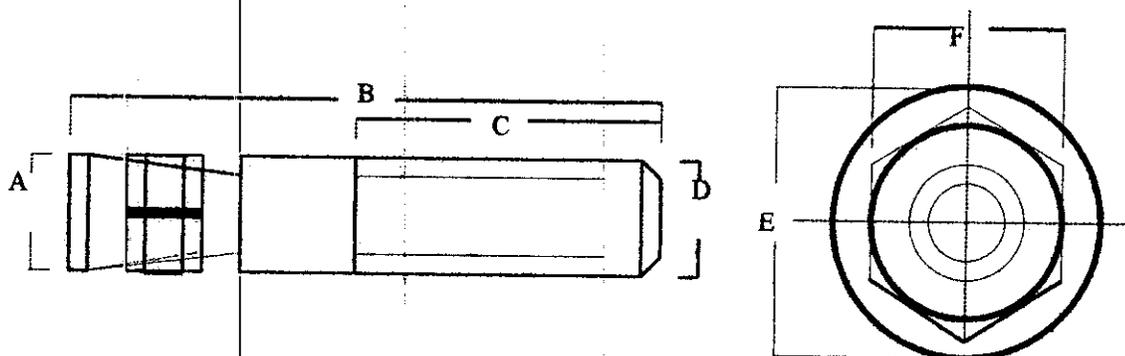
MODELOS / VARIACIONES

ANCLAJES DE ACERO AL CARBÓN ZINCADO: Usos estructurales e internos en plantas.

ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE: Proporciona protección en humedad media, corrosión o atmósferas salinas. Para aplicaciones de exteriores; incluye rejas en entradas, rieles diques, transportadores, rieles guías en autopistas, señalización, iluminación y dispositivos de seguridad.

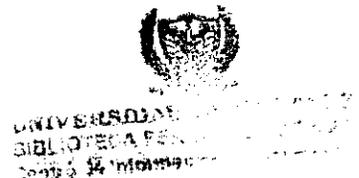
ACERO INOXIDABLE: Para protección en humedad, alta corrosión y ambientes ácidos. Usado ampliamente en arquitectura para montaje de marcos de ventanas en acero inoxidable, aluminio y cortinas metálicas.

DIAGRAMA



DISTANCIA CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro del Anclaje	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima a filos	
	Concreto Reforzado 10 diámetros	Concreto Liviano 12 diámetros	Concreto Reforzado 5 diámetros	Concreto Liviano 6 diámetros
	1/4"	2-1/2	3	1-1/4
3/8"	3-3/4	4-1/2	1-7/8	2-1/4
1/2"	5	6	2-1/2	3
5/8"	6-1/4	7-1/2	3-1/8	3-3/4
3/4"	7-1/2	9	3-3/4	4-1/2
7/8"	8-3/4	10-1/2	4-3/8	5-1/4
1"	10	12	5	6
1-1/4"	12-1/2	15	6-1/4	7-1/2



DATOS DE RESISTENCIA

Diámetro del anclaje	Empotramiento en concreto	Concreto 3000 Psi		Concreto 4000 Psi		Concreto 5000 Psi	
		Resistencia Última a la Tracción	Resistencia Última al Corte	Resistencia Última a la Tracción	Resistencia Última al Corte	Resistencia Última a la Tracción	Resistencia Última al corte
1/4"	1-1/8	1224	1694	1559	1828	2008	1926
	1-15/16	2670	1779	2999	1910	3024	1983
	2-3/4	2857	1863	3051	1991	3100	2040
3/8"	1-1/2	2763	3453	3219	4029	3537	4103
	3	4819	3908	5678	4305	5943	4490
	4-1/2	5290	4363	3935	4581	6190	4876
1/2"	2-1/4	4158	5400	5384	6900	5519	7487
	4-1/8	6051	5939	7333	7449	9907	7968
	6	6975	6478	9003	7998	11764	8449
5/8"	2-3/4	6136	11724	8000	12478	8463	12478
	5-1/8	8486	12456	10178	13285	12751	13285
	7-1/2	10941	13188	12453	14098	15027	40092
3/4"	3-1/4	8072	17024	9921	18128	10553	18666
	6-5/8	12515	17509	16489	18585	17076	19034
	10	14074	17993	19953	19042	23148	19401
7/8"	3-3/4	10810	20737	13672	25122	14079	25122
	6-1/4	14619	22405	20029	25122	25110	25122
	8-3/4	15337	24072	20707	25122	25366	25122
1"	4-1/2	17347	25686	20871	28431	21947	32888
	7-3/8	25122	27179	30610	29763	35094	32888
	10-1/4	32776	28672	37820	31094	40510	32888
1 - 1/4"	5-1/2	21463	39004	27166	44385	29857	48510
	8	39836	42157	53261	46776	54696	48709
	10-1/2	47558	44680	60417	48689	63108	48868
Ojal	1-1/8	1224	N/A	1559	N/A	2008	N/A



ANCLAJE DE CUÑA TRUBOLT EN ACERO INOXIDABLE

Diámetro Del Anclaje	Empotramiento en concreto	Concreto de 3000 Psi		Concreto de 4000 Psi		Concreto de 5000 Psi	
		Resistencia Última a Tracción	Resistencia Última al Corte	Resistencia Última a Tracción	Resistencia Última al Corte	Resistencia Última a Tracción	Resistencia Última al Corte
1/4"	1-1/8	1406	2200	1869	2354	2205	2437
	1-15/16	2878	2211	3084	2375	3169	2453
	2-3/4	3067	2221	3102	2395	3175	2469
3/8"	1-1/2	2799	3606	3145	4338	3219	4412
	3	4828	4455	5661	5012	6316	5049
	4-1/2	5695	5303	6396	5686	6995	5686
1/2"	2-1/4	3998	8221	6032	9542	5077	9993
	4-1/8	7107	8875	8593	9773	10761	10314
	6	8093	9528	9974	10003	11600	10635
5/8"	2-3/4	6020	12289	7646	13339	8007	16208
	5-1/8	10658	13420	11897	14227	13975	16289
	7-1/2	11118	14450	12791	15115	15681	16370
3/4"	3-1/4	8234	16782	10069	18773	10656	20387
	6-3/8	13014	19911	16027	21795	18331	22434
	9	13566	22539	16839	24153	21034	24153
7/8"	3-3/4	11275	22001	15295	26198	15422	28888
	6-1/4	12612	25673	18687	28826	25524	29453
	8-3/4	18282	29345	25311	30018	27947	30018
1"	4-1/2	14522	27086	18988	33408	21320	37533
	7-3/8	17734	31848	20764	36260	24709	39668
	10-1/4	18504	36609	22755	39111	26880	41802

ANCLA DE MANGUITO

VERSATILIDAD DE LOS ANCLAJES DE MANGA PARA TRABAJO PESADO

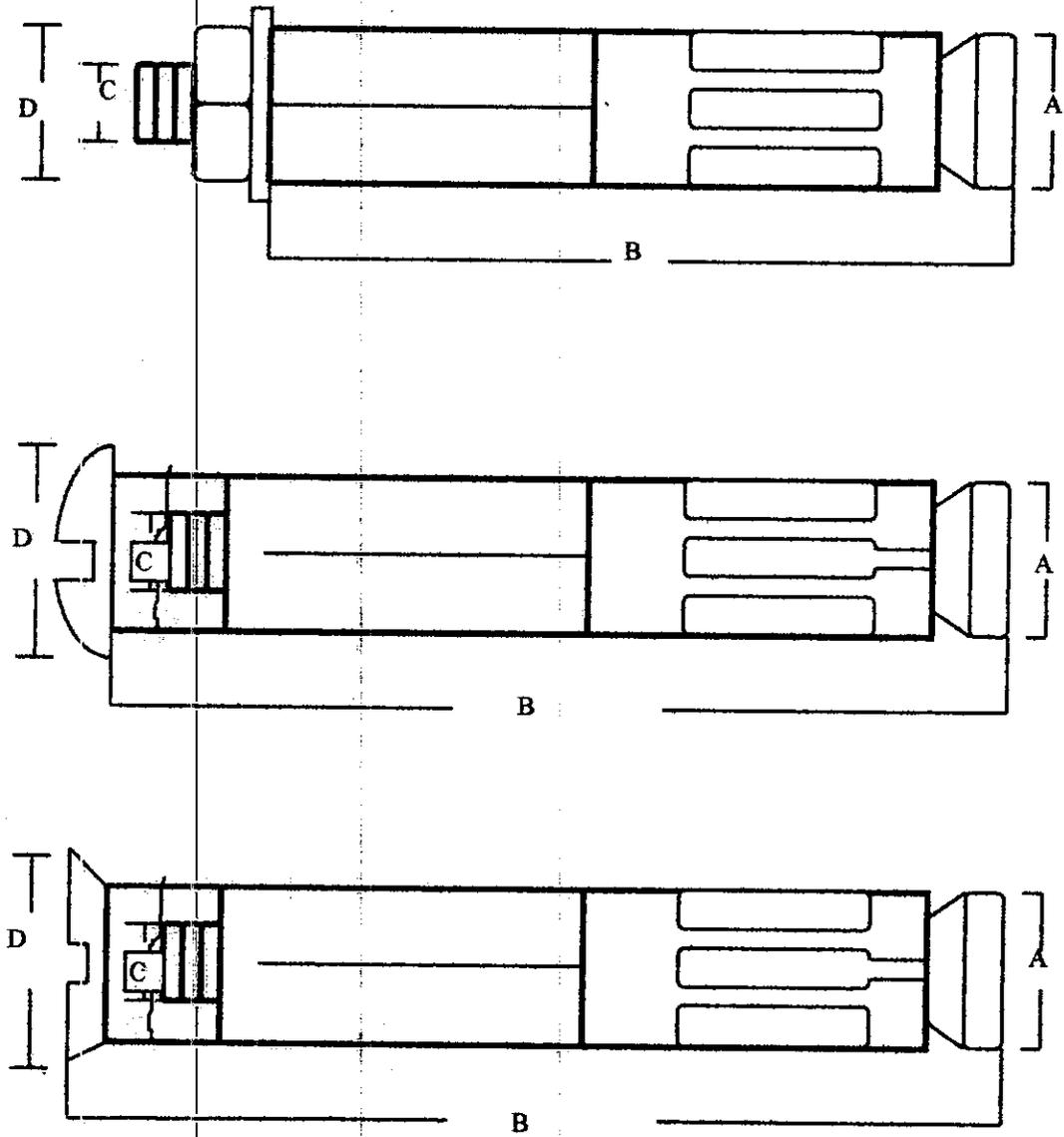
- El diámetro del anclaje es igual al diámetro del hueco. Disponible en cabeza hexagonal y cinco estilos más de cabezas.
- Proporciona 360° de contacto con las paredes del hueco sobre un área grande y reduce la tensión del concreto.
- Capacidad para altas resistencias.
- Pre - ensamblado para aplicaciones rápidas y fáciles.
- El Ancla de manga puede ser instalada a través del objeto a ser fijado.
- El diseño de la camisa expansora con 6 aperturas mejora el poder de retención.
- No es necesario premarcar los huecos.
- Trabaja en concreto, bloque hueco, ladrillo y casi cualquier otro material de mampostería.

MODELOS / VARIACIONES

ACERO AL CARBON: Los anclajes de manga están disponibles en medidas de 1/4" a 3/4" y en longitudes de 1-3/8" a 6-1/4". Estilos de cabeza disponibles: tuerca redondeada, tuerca hexagonal, cabeza plana, cabeza extraplana, cabeza garbanzo y anclaje de ojete.

ACERO INOXIDABLE: Para protección en ambientes húmedos o corrosivos, seleccione anclajes de manga tipo inoxidable, de cabeza hexagonal, cabeza plana y redondeada.

DIAGRAMA



DATOS DE RESISTENCIA**ANCLAJES DE MANGA DE ACERO AL CARBON**

Diámetro del Anclaje	Empotramiento mínimo	Concreto 2130 PSI		Concreto de 4090	
		Resistencia última a tracción	Resistencia última a corte (lbs)	Resistencia última a tracción	Resistencia última a corte (lbs)
¼	1-1/8	1347	1607	1613	1751
5/16	1-1/4	1080	2001	2429	2487
3/8	1-1/2	1891	3068	2597	2872
½	1-7/8	2111	3845	5385	5582
5/8	2	3389	6645	5708	7435
¾	2-1/4	4053	10446	6470	13071
OJAL	1-1/2			2000	500

ANCLAJES DE MANGA DE ACERO INOXIDABLE

Diámetro del Anclaje	Empotramiento mínimo	Concreto de 2130 PSI		Concreto de 4090 PSI	
		Resistencia Última a tracción	Resistencia Última a corte	Resistencia Última a tracción	Resistencia Última a corte
¼"	1-1/8	1347	1607	1613	1751
3/8"	1-1/2	1891	3068	2597	2872
½"	1-7/8	2111	3845	5385	5582
5/8"	2	3389	6646	5708	7435

DISTANCIA CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro del Anclaje	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima a filos	
	Concreto Reforzado diámetros	10 Concreto Liviano diámetros	12 Concreto Reforzado diámetros	5 Concreto Liviano Diámetros
1/4"	2-1/2	3	1-1/4	1-1/2
5/16"	3-1/8	3-3/4	1-5/8	1-7/8
3/8"	3-3/4	4-1/2	1-7/8	2-1/4
1/2"	5	6	2-1/2	3
5/8"	6-1/4	7-1/2	3-1/8	3-3/4
3/4"	7-1/2	9	3-3/4	4-1/2

ANCLA MULTIUSO

ANCLA DE ROSCA INTERNA "MULTI SET II" PARA TRABAJO PESADO,
ANCLAJE DE EXPANSION EN ACERO.

- Reborde superior, fijación sobre paredes laterales del hueco.
- Rápida y fácil instalación.

- El anclaje multi - set II puede ser instalado a nivel de superficie o introducido en una perforación a cualquier profundidad.
- Cuatro aletas de expansión en acero dan la seguridad de expansión uniforme del anclaje.
- Pre - ensamblado, el cilindro de expansión no se cae durante su transporte o instalación.
- Para una correcta instalación es necesario premarcar el sitio de perforación.

MODELOS / VARIACIONES

ACERO AL CARBON: Anclajes Multi - set están disponibles en tamaños desde 1/4" hasta 3/4".

ACERO INOXIDABLE: para protección en ambientes húmedos o corrosivos, disponible en tamaños desde 1/4" hasta 5/8".

DIAGRAMA

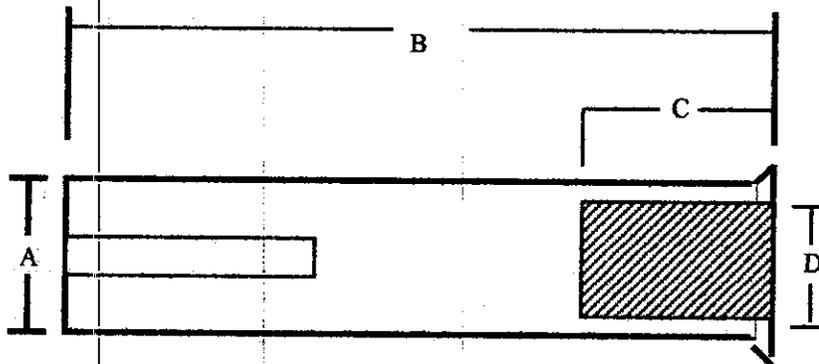


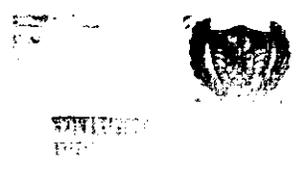
TABLA DE RESISTENCIA

ACERO AL CARBON

Acero al Carbón	Profundidad mínima de perforación	Concreto 4310 PSI	
		Tracción Lbs.	Corte Lbs.
RM - 14	1"	3,204	1,986
RM - 38	1-5/8"	6,350	3,968
RM - 12	2"	8,544	6,502
RM - 58	2-1/2"	15,218	10,380
RM - 34	3-3/16"	17,255	13,962

ACERO INOXIDABLE

Acero Inoxidable 303	Profundidad mínima de perforación	Concreto 4310 PSI	
		Tracción Lbs.	Corte Lbs.
SRM - 14	1"	3,204	1,986
SRM - 38	1-5/8"	6,350	3,968
SRM - 12	2"	8,544	6,502
SRM - 58	2-1/2"	15,218	10,380



ESPACIADO CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro del Tornillo	Diámetro de Broca	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima al borde	
		Concreto Reforzado 10 diámetros	Concreto Liviano 12 diámetros	Concreto Reforzado 5 diámetros	Concreto Liviano 6 diámetros
1/4"	3/8	3-3/4	4-1/2	1-7/8	2-1/4
3/8"	1/2	5	6	2-1/2	3
1/2"	5/8	6-1/4	7-1/2	3-1/8	3-3/4
5/8"	7/8	8-3/4	10-1/2	4-3/8	5-1/4
3/4"	1	10	12	5	6

ANCLAS AUTOPERFORANTES

ANCLAS AUTOPERFORANTES, ANCLAJES PARA TRABAJO PESADO QUE HACEN SU PROPIO HUECO.

- El anclaje se expande al ser situado encima del tarugo de expansión.
- El diámetro del hueco y la profundidad están asegurados al ser hechos por el anclaje.
- Poderosa capacidad de carga.
- La acción autoperforante asegura una adecuada medida del orificio en cada anclaje.
- Instalación fácil y rápida.
- Elimina el uso de brocas de tungsteno.

- Perfecto para aplicaciones de elementos colgados.

MODELOS / VARIACIONES

Los anclajes autopercutores están disponibles, en medidas de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{3}{4}$ " para instalación en paredes y techos en concreto usando un Rotomartillo especial.

DIAGRAMA

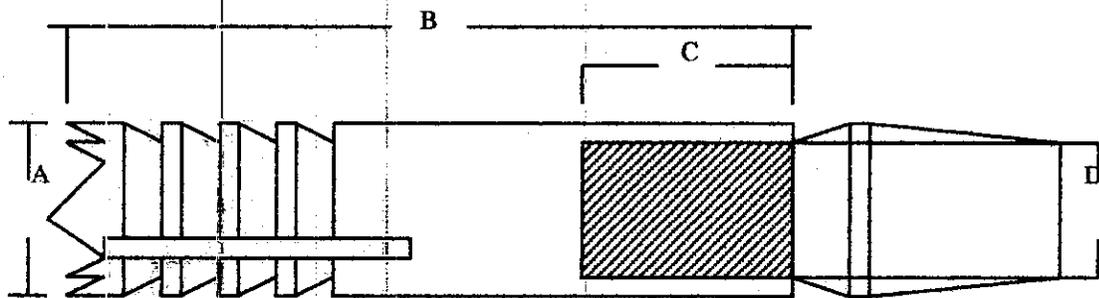


TABLA DE RESISTENCIA

Referencia	Profundidad en concreto	Concreto 2055 Psi		Concreto 4713 Psi	
		Tracción	Corte	Tracción	Corte
S - 14	1-3/32	1892	2483	2713	2103
S - 38	1-17/32	2794	4200	4200	4550
S - 12	2-1/32	5100	6700	7350	6800
S - 58	2-15/32	7000	7350	10250	9900
S - 34	3-1/4	9200	12120	13950	12350

DISTANCIA CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro del Tornillo	Diámetro Exterior	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima a filos	
		Concreto Reforzado 10 diámetros	Concreto Liviano 12 diámetros	Concreto Reforzado 5 diámetros	Concreto Liviano 6 diámetros
1/4"	7/16	4-1/4	5-1/4	2-1/8	2-5/8
3/8"	9/16	5-3/4	6-3/4	3	3-3/8
1/2"	11/16	7	8-1/4	3-1/2	4-1/8
5/8"	27/32	8-1/2	10	4-1/4	5
3/4"	1	10	12	5	6

ANCLA DE ESPARRAGO

ANCLAJE DE ROSCA EXTERNA DE EXPANSION USANDO EL FONDO DEL HUECO.

- Rápido y fácil de instalar.
- El tamaño de la broca es igual al del anclaje y no es necesario premarcar el orificio.
- Expansión a martillo.
- El anclaje puede ser instalado a través del objeto a ser fijado.
- Cada anclaje está pre - ensamblado.
- El anclaje de espárrago es ideal para nivelar y controlar el movimiento vertical del objeto a ser fijado.

MODELOS / VARIACIONES

Los anclajes de espárrago están disponible en tamaños desde $\frac{1}{4}$ " hasta $\frac{3}{4}$ " para instalaciones en pisos, paredes y techos.

DIAGRAMA

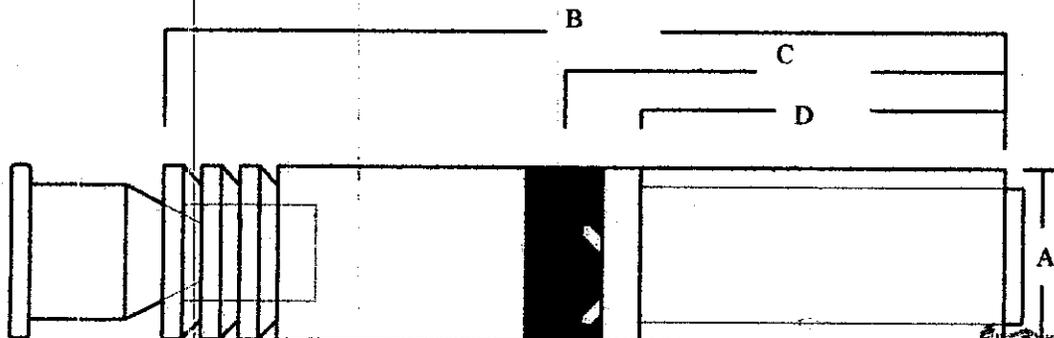


TABLA DE RESISTENCIA

Diámetro del Anclaje	Empotramiento mínimo	Concreto 2130 Psi		Concreto 4090 Psi	
		Resistencia Última a tracción	Resistencia Última a corte	Resistencia Última a tracción	Resistencia Última a corte
1/4"	1-3/8	1533	1955	1909	2186
3/8"	1-5/8	2678	3925	2327	4575
1/2"	1-7/8	3139	5621	5826	6524
5/8"	2-3/8	4799	7064	7705	11119
3/4"	2-7/8	6625	10802	9597	15276

DISTANCIA CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro de Perforación	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima a filos	
	Concreto Reforzado 10 diámetros	Concreto liviano 12 diámetros	Concreto Reforzado 5 diámetros	Concreto Liviano 6 diámetro
1/4"	2-1/2	3	1-1/4	1-1/2
3/8"	3-3/4	4-1/2	1-7/8	2-1/4
1/2"	5	6	2-1/2	3
5/8"	6-1/4	7-1/2	3-1/8	3-3/4
3/4"	7-1/2	9	3-3/4	4-1/2

ANCLA NO PERFORANTE

PARA TRABAJO PESADO, ANCLAJE DE EXPANSION CON ROSCA INTERNA.

- El anclaje se expande al introducirse el tarugo por el fondo del anclaje.
- Resistente a vibración y choque.

- Perfecto para instalaciones a nivel del concreto.
- Se puede utilizar inmediatamente después de expandido.
- El anclaje es expandido por golpe de martillo.

MODELOS / VARIACIONES

Los anclajes no perforantes están disponibles en medidas de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{3}{4}$ " para instalaciones en piso, pared y techos.

DIAGRAMA

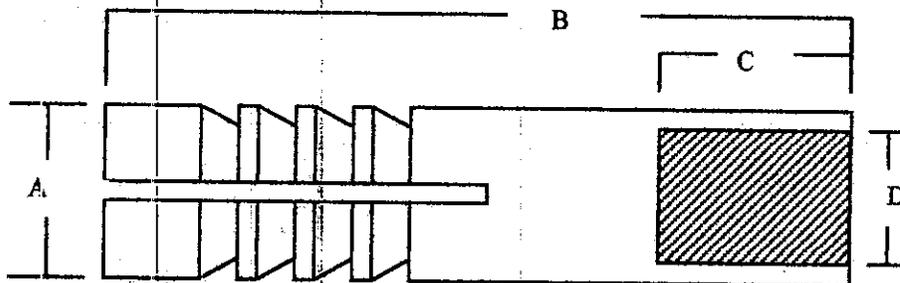


TABLA DE RESISTENCIA

Referencia	Profundidad mínima de Perforación	Ultima Resistencia a tracción	Ultima Resistencia al corte
J - 14	1-1/8	2,825	2,860
J - 38	1-9/16	3,978	7,373
J - 12	2-1/16	7,549	8,863
J - 58	2-9/16	10,847	13,618
J - 34	3-3/16	12,260	18,282

DISTANCIA CENTRO A CENTRO Y DISTANCIA AL BORDE

Diámetro de Rosca	Diámetro Exterior	"A" Distancia mínima entre anclajes		"B" Distancia mínima a filos	
		Concreto Reforzado	Concreto Liviano	Concreto Reforzado	Concreto Liviano
		10 diámetros	12 diámetros	10 diámetros	6 diámetros
1/4"	7/16	4-1/4	5-1/4	2-1/8	2-5/8
3/8"	9/16	5-3/4	6-3/4	3	3-3/8
1/2"	11/16	7	8-1/4	3-1/2	4-1/8
5/8"	27/32	8-1/2	10	4-1/4	5
3/4"	1	10	12	5	6

2.5 ANCLAJE CON MORTERO EPÓXICO PARA CONCRETO⁴

2.5.1 RESINAS EPOXICAS

GENERALIDADES

Dentro de los materiales plásticos tenemos un grupo que cada vez se va abriendo más camino en el campo de la construcción, y esto a pesar de haber llegado a última hora; estos plásticos, con características muy peculiares, son las resinas epoxi.

Las resinas epoxi son resinas sintéticas comprendiendo una gran gama que va desde líquidos de baja viscosidad sin solventes, hasta sólidos de alto punto de fusión. Estas resinas están caracterizadas por poseer en su molécula uno o varios grupos epoxi de la forma:



El origen de la palabra epoxi es griego, significando “epi” fuera de, y “oxi” oxígeno. Esta denominación coincide exactamente con la forma del grupo químico epoxi dado anteriormente.

A las resinas epoxi se las conoce también con los nombres de epóxidos, epóxicas, epoxidicas, etoxilinas y epoxirresinas.

⁴ Tomado de tecnología del concreto AICUN

Parece ser que las resinas epoxi fueron descubiertas en 1891 por el noruego Lindeman, pero hasta 1920 y 1930 no se encuentran patentes de trabajo con diepóxidos. El principio de la tecnología actual data de 1934 con la patente de Schlack de I.G Farben, pero el paso más importante dentro de la tecnología de estas resinas lo da en 1938 Castan, un químico suizo, produciendo una resina epoxi para empleo de prótesis dental. Una empresa Suiza en Basilea adquiere la licencia y en la Feria Industrial Suiza de 1946 presenta un adhesivo que permite la unión de distintos materiales, exhibiendo, al mismo tiempo, resinas para su empleo en aparatos eléctricos.

Paralelamente con las investigaciones europeas en este campo, Greenlee trabaja en Estados Unidos en resinas epoxi para pavimentaciones. La primera patente aparece en septiembre de 1943. Los trabajos de Greenlee pasan a la compañía Devos y Reynolds de Estados Unidos, y Shell obtiene la licencia.

A partir del final de 1950 y principios de 1960 empiezan a aparecer otros tipos de resinas. Los laboratorios de investigación trabajan con muchos diepóxidos cicloalifáticos, y se inicia a partir de estos momentos una intensa promoción comercial de un número muy seleccionado de resinas.

La primera aplicación importante de las resinas epoxi en el campo de la construcción tiene lugar en el año 1954. En este año, el California State Highway Department de Estados Unidos las emplea en carreteras para pegar señales de tráfico a la superficie de rodadura. Desde entonces, las resinas epoxi se han desarrollado y en la actualidad su empleo en

construcción es muy importante, como lo demuestran los volúmenes de ventas en las casas productoras.

En un principio las resinas epoxi fueron simples auxiliares de otros materiales, y así vemos que sus primeras aplicaciones fueron como adhesivos o agentes de unión de elementos estructurales formados por otros materiales, principalmente en la industria aeronáutica y en la construcción; hoy día ese papel de auxiliar lo siguen manteniendo, gracias a su gran poder adherente, pero lo importante es que han pasado a ocupar el puesto de materiales de construcción propiamente dichos, con empleos cada vez más crecientes en pinturas, morteros, hormigones epoxi, etc. por otra parte, todos sabemos que cada día se progresa más y se exige más; como consecuencia de esto, al hormigón empieza a resultarle difícil resolver toda una serie de problemas que las nuevas técnicas le van imponiendo. Muchos de estos problemas que en ocasiones eran insolubles, e incluso, cuando se lograban resolver, la garantía era tan dudosa que no desaparecía la intranquilidad ante un probable accidente, han dejado de existir gracias a la aplicación de estas resinas y a los favorables resultados que se han obtenido en las investigaciones y que han sido refrenados en la práctica por los usos que se han hecho de ellas con pleno éxito en el campo de la construcción y en la industria en general.

Las resinas epoxi se distinguen por sus magníficas propiedades, entre las que cabe distinguir su gran resistencia a compresión, tracción, esfuerzo cortante, choque, abrasión, etc., así como su gran velocidad para adquirir estas resistencias. Si a esto unimos el extraordinario comportamiento de estas resinas frente a los agentes químicos y su gran adherencia al hormigón, acero y otros materiales, vemos que en realidad estamos ante un

material que, sin poder considerarlo como una panacea, tampoco podemos quitarle la importancia que tiene.

Entre las muchas aplicaciones que de las resinas se hacen en la actualidad, recogemos algunas que son trascendentales en construcción y que gozan de la garantía que les da el que se haya hecho uso de las mismas con éxito total en obras importantes. Estas aplicaciones son:

- Unión de hornigones fresco y endurecido
- Unión entre sí de elementos prefabricados
- Unión de elementos estructurales
- Morteros para reparaciones y bacheos
- Juntas elásticas
- Revestimiento de depósitos destinados a contener productos agresivos para el hormigón o acero
- Membranas impermeabilizantes epoxi o breaepoxi
- Preparación de pisos industriales resistentes al desgaste, deslizamiento y agentes agresivos
- Unión de acero, bronce, latón y otros metales entre sí y con el hormigón
- Pinturas anticorrosivas
- Pinturas para marcar señales de tráfico, etc.

A las resinas epoxi cabe ponerles el inconveniente de que son costosas pero...¿Realmente lo son? El término costoso es relativo, ya que si se compara el precio de la solución de un

problema a partir de resinas, al de otra solución con otro tipo de material, se observará que la primera solución es la más económica, pues si no lo fuera a igualdad de seguridad, sería absurdo inclinarse por las resinas.

Por otra parte, hay ocasiones en que el costo de una reparación no se tiene en cuenta, pues la rapidez con que se soluciona una avería y entra de nuevo en servicio una instalación, compensa con creces este costo.

Esto ocurre, por ejemplo, en la reparación de pistas de aeródromos, donde el dejar durante algunos días sin servicio una pista puede ocasionar un grave trastorno; con las resinas epoxi, a las cuatro horas se pueden poner en servicio. En la reparación de conducciones de agua a una ciudad, el cortar al mínimo tiempo posible el suministro es fundamental; y así, en otros muchos casos en que la rapidez en solucionar un problema grave es el factor predominante, las resinas epoxi suelen ser la solución ideal.

Hasta aquí se ha hablado de resinas epoxi, pero es preciso tener en cuenta que éstas no se emplean aisladamente en ninguna aplicación, sino formando mezclas con otros productos con los cuales reaccionan. Estos productos son normalmente agentes endurecedores, flexibilizadores, acelerantes, etc.

La resina epoxi base y los productos con los cuales ha de reaccionar para endurecer y tener determinadas características forman una "formulación epoxi", o "sistema epoxi multicomponente", y esta formulación perfectamente dosificada en cuanto a la elección de

los componentes y proporciones en que entran en la reacción, es la base de una aplicación concreta.

Cada componente de los que entra en una formulación epoxi es estable independientemente, pero una vez mezclados entre sí se produce una reacción exotérmica de poliadición que transforma la mezcla líquida en un sólido plástico, siendo el tiempo de transformación dependiente de la temperatura y en el sentido de que el calor acelera el proceso de endurecimiento o curado.

La formulación epoxi más simple está formada por una resina y un endurecedor o agente de curado con el cual la resina reacciona formando un sólido. Como el efecto de curado es consecuencia de una reacción química entre resina y endurecedor, será necesario que los componentes entren en las proporciones adecuadas, sin que sobre ni falte de ninguno de ellos, y por otra parte, que la mezcla sea la más íntima posible para que cada partícula de endurecedor está en contacto con su correspondiente parte epoxi. Cuando la formulación es perfecta, la mezcla de resina y endurecedor, endurecerá como un sólido con cada molécula firmemente unida a su vecina formando una red tridimensional.

En la práctica, además de las resinas y endurecedores, en las formulaciones se emplean también otros compuestos tales como harinas inertes, diluyentes, flexibilizadores, retardadores de llama, etc. los cuales tienen por objeto modificar algunas propiedades físicas o químicas, o simplemente abaratar la formulación.

El elegir el endurecedor más adecuado y los demás componentes de la formulación es un problema difícil dado el gran número de productos existentes con propiedades distintas cada uno.

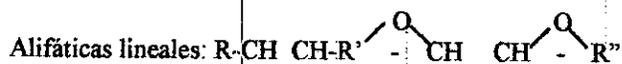
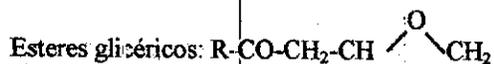
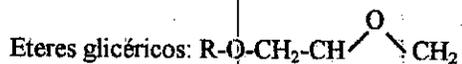
2.5.2 COMPONENTES DE UNA FORMULACION EPOXI

RESINAS:

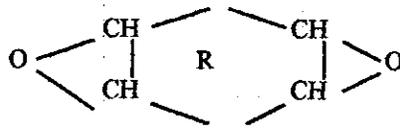
Las resinas epoxi se caracterizan por tener más de un grupo epoxi por molécula y poder polimerizarse a través de estos grupos cuando se emplea un agente de enlace llamado "agente de curado" o "endurecedor".

Las resinas epoxi por sí solas no tienen aplicación práctica en construcción, salvo que vayan unidas a estos agentes de curado, con los cuales reaccionan y toman la forma que se quiera al transformarse en sólidos.

La familia de las resinas epoxi pueden clasificarse en los cinco grupos químicos siguientes:



Cicloalifáticas



De los cinco grupos anteriores, el más importante desde el punto de vista comercial es el de los éteres glicéricos con componentes dihidroxi; el 95% de las resinas son productos de condensación que resultan de la reacción de la epíclorhidrina con compuestos de varios grupos fenólicos, generalmente con el difenolpropano, conocido también con el nombre de bisfenol A.

El estudio de las resinas epoxi entra de lleno dentro del campo de la Petroquímica, pues la epíclorhidrina es un derivado del propileno, que es un gas desprendido en la destilación del petróleo, y el difenolpropano se obtiene a partir del fenol y de la acetona, el primero procede de la hulla o del petróleo y la acetona del propileno, es decir, del petróleo también.

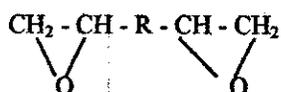
El gráfico que exponemos a continuación da una idea muy clara del entronque de las resinas epoxi, así como otros polímeros importantes con el petróleo.

Las resinas epoxi están incluidas dentro del grupo de los plásticos termoestables; por tanto, al transformarse por la acción de un agente de curado, pasan a convertirse en sólidos duros e infusibles, cuya estructura está formada por una red tridimensional, en las que las macromoléculas se enlazan por uniones de tipo químico en las tres dimensiones espaciales.

El número de puntos por los que la molécula puede unirse a otra es lo que define la "funcionalidad" de una resina y, desde este punto de vista, es uno de los factores más

importantes a tener en cuenta en la utilización de las resinas debido a que muchas de sus propiedades, tales como dureza, resistencia a los solventes, temperatura de ablandamiento del producto final, etc., dependen de la funcionalidad.

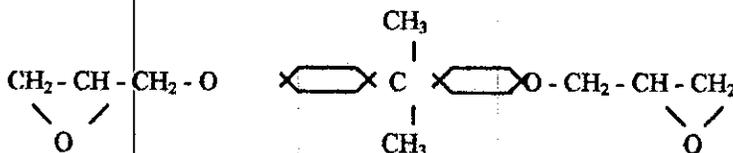
La mayor parte de las resinas epoxi derivan como hemos indicado anteriormente de la epiclorhidrina y muchas de ellas, también, del bisfenol A. La fórmula característica de estas resinas es:



La molécula de las resinas epoxi se distingue por la presencia del grupo epoxi que se encuentra en los extremos de la cadena:



La molécula más sencilla de resina epoxi es, por tanto:



Estando formada por epiclorhidrina y bisfenol A. La epiclorhidrina, es muy activa, combinándose por medio del grupo epoxi que posee, con cualquier sustancia que tenga un átomo de hidrógeno activo: fenoles, alcoholes, aminas, ácidos carboxílicos, etc.

El bisfenol A es la sustancia más usada en la preparación de resinas, por ser abundante, fácil de obtener y, por consiguiente barata. También se emplea cuando se quieran productos más flexibles, el bisfenol F, en sustitución del bisfenol A, si bien tiene el inconveniente de dar compuestos con temperaturas de ablandamiento más bajas.

Mediante el empleo de tetracloro-bisfenol A se obtienen resinas resistentes a las llamas y con buenas propiedades incluso a altas temperaturas, manteniéndose la buena resistencia a flexotracción al aumentar la temperatura, lo que ocurre con las fabricadas con bisfenol A que resultan muy sensibles a estos aumentos.

La obtención de resinas epoxi a partir de bisfenol A se logra haciendo reaccionar dos moléculas de epiclohidrina con una de bisfenol A en presencia de NaOH.

Las resinas líquidas se caracterizan por un valor bajo del grado de polimerización. Este tipo de resina es el más empleado en construcción y se consigue cuando la epiclohidrina está en exceso sobre el bisfenol. Cuando se desean resinas sólidas, el valor de n debe ser grande, y estar, en este caso, el bisfenol en exceso sobre la epiclohidrina.

Este tipo de resinas son las más empleadas en pinturas, barnices, tintas, etc. se observa por consiguiente, que variando las proporciones de epiclohidrina y bisfenol, se puede obtener resinas con un grado de polimerización determinado y, por tanto, con un peso molecular y viscosidad también determinados.

Se denomina "equivalente epoxi" de una resina, al peso de resina, en gramos, que contiene un equivalente químico gramo de grupo epoxi. Si la cadena es lineal y termina en grupos epoxi en los extremos, el equivalente será la mitad del peso molecular de la resina.

Como hemos indicado anteriormente, las resinas epoxi más empleadas en construcción son líquidas con bajos valores de n . Estas resinas no llevan disolventes y se trabajan muy bien a temperaturas ordinarias.

ENDURECEDORES O AGENTES DE CURADO

Las resinas epoxi solas, no tienen, en general, aplicación; ahora bien, debido a las buenas propiedades químicas de los grupos epoxi, éstos reaccionan con los hidrógenos activos de los ácidos inorgánicos, así como con las aminas, dando lugar a grandes moléculas de diferente composición, según sea el producto que haya reaccionado con la resina. A estos productos capaces de reaccionar con los grupos epoxi de las resinas se les denomina industrialmente "endurecedores" o "agentes de curado".

El endurecimiento de una resina puede hacerse con un agente catalítico o con un endurecedor. En el primer caso, una molécula epoxi se une a otra en presencia del catalizador. En el segundo, el reactivo endurecedor o agente de curado se combina con una o más moléculas de resina.

Los agentes catalizadores más empleados son las bases fuertes, tales como aminas terciarias o materiales fuertemente aceptores de protones, como el trifloruro de boro.

Los reactivos endurecedores son las aminas y derivados de éstas, poliaminas o poliamidas y los ácidos y anhídridos orgánicos.

Según lo anteriormente dicho, las resinas reaccionan en general con compuestos que tengan hidrógenos activos, tales como: fenoles, alcoholes, tioles, aminas primarias y secundarias y ácidos carboxílicos.

La reactividad de los grupos epoxi de cada uno de los cinco tipos de resinas epoxi estudiados será diferente con cada uno de los agentes de curado, y así vemos, por ejemplo, que los ésteres diglicéricos reaccionan muy rápidamente con las poliaminas, pero de una forma mucho más lenta que los epóxidos cicloalifáticos con los agentes ácidos mediante los cuales curan.

En la reacción de la resina epoxi con el endurecedor, el anillo epoxi se abre para formar un alcohol primario o secundario. Así, cuando un diepóxido con funcionalidad 2 reacciona con una sustancia que posee cuatro átomos de hidrógeno activo, y por consiguiente con funcionalidad 4, se crea un sistema de funcionalidad 4:2, produciéndose, por tanto, una estructura química cruzada.

Los grupos hidróxidos formados cuando el grupo epoxi se abre pueden también, en determinadas circunstancias, reaccionar con epóxidos u otros grupos presentes; en este caso la funcionalidad efectiva de cada grupo epoxi se incrementa de 1 a 2 y la funcionalidad de un componente diepóxido de 2 a 4. El grado de reticulación, es decir, el número de puntos de unión entre cadenas, depende, como se ve, del número de grupos epoxi y del número de radicales NH.

La formación de redes tridimensionales no es exclusiva de los agentes endurecedores o de curado, ya que, como hemos indicado anteriormente, las resinas se pueden homopolimerizar a través de sus grupos epoxi, usando como catalizadores ácidos lewis, tales como derivados del trifloruro de boro, o bases tales como aminas terciarias.

En general, cada resina precisa de un endurecedor para su aplicación. Así, por ejemplo, las resinas flexibles, que en muchas aplicaciones en construcción resultan imprescindibles, se pueden conseguir empleando endurecedores a base de poliaminoamidas, tales como versamidas, o también utilizando polisulfuros como son los tiokoles; éstos últimos, no obstante, actúan débilmente y su acción debe acelerarse mediante la adición de poliaminas aromáticas especiales.

Se denomina "formación epoxi" ó "sistema epóxico" al conjunto de, por lo menos, una resina y un endurecedor. Una formulación epoxi es siempre la base de una aplicación útil, siendo en general lo importante, no la resina en sí, sino la formulación que se haya hecho con ella, es decir, encontrar las proporciones óptimas de resina y endurecedor elegido para que el producto de la reacción sea lo más eficaz posible desde el punto de vista de la aplicación que se busca.

Como el curado de la formulación epoxi es fruto de la reacción química entre la resina y el endurecedor, o más concretamente, entre cada grupo y cada hidrógeno activo, estos dos productos intervendrán en la reacción en cantidades determinadas y siempre fijas, lo que equivale a decir que a una determinada cantidad de resina epoxi le corresponde, para su curado o endurecimiento, una cantidad también determinada de endurecedor.

Cualquier exceso o defecto sobre estas proporciones, esteoquímicas debilitará siempre el producto obtenido.

2.5.3 ANCLAJE DE BARRAS DE ACERO UTILIZANDO RESINAS EPOXICAS⁵

APLICACIONES EN ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO

En este artículo se presenta un estudio experimental sobre el comportamiento de varillas ancladas con resinas epóxicas en elementos de concreto reforzado. El anclaje se somete a cargas monotónicas, cargas cíclicas y cargas sostenidas, se observa en general una respuesta estructural aceptable. Sin embargo, las expresiones de diseño proporcionadas por el ACI y el PCI sobrestiman la carga última de extracción debido a que consideran la longitud total de anclaje; con resinas epóxicas es necesario considerar una longitud efectiva que en la mayor parte de los casos es menor que la longitud total, como se pone de manifiesto en este estudio.

Las primeras aplicaciones de resinas epóxicas comenzaron a fines de los años 40 y estaban orientadas hacia trabajos de recubrimiento de pisos y de carreteras. Debido a los buenos resultados obtenidos se incremento la investigación en las resinas hacia trabajos de restauración de superficies deterioradas de concreto a mediados de los años 50.

⁵ Tomado de construcción y tecnología/ septiembre 1990.

Las formulaciones de resinas epóxicas se desarrollaron y presentaron propiedades que las hicieron muy adecuadas para su uso en elementos estructurales, debido a que presentan características mecánicas similares o mejores que la de los elementos estructurales que unen.

Actualmente, además de continuar con estas aplicaciones, las resinas epóxicas se mezclan con materiales inertes de relleno para producir morteros epóxicos.

Aunque en general los morteros epóxicos son más caros que otros productos alternos, la baja contracción que presentan durante el curado, su alta resistencia a la corrosión, las altas resistencias a compresión y tensión que presenta a edades tempranas, las hacen preferibles sobre otros tipos de materiales.

A pesar de que su uso se ha generalizado se carece aún de la información técnica necesaria para su correcta aplicación y manejo en obra, así como sobre la respuesta mecánica que presenta este producto ante diversas condiciones de carga. Por lo anterior, es necesario llegar a determinar las principales variables que influyen en su comportamiento para tomarlas en cuenta en cualquier solución estructural que involucre su utilización.

Objetivos. El objetivo de este artículo es presentar recomendaciones para la utilización de resinas epóxicas en el anclaje de barras de acero en estructuras de concreto.

ANTECEDENTES

Mecanismos de falla. La formación del cono de cortante en el concreto se puede describir por el estudio realizado por Daws en el cual se establece que cuando la carga de tensión se aplica sobre la barra se forma un cono de esfuerzos con una profundidad inicial de dos decimos de la longitud de anclaje.

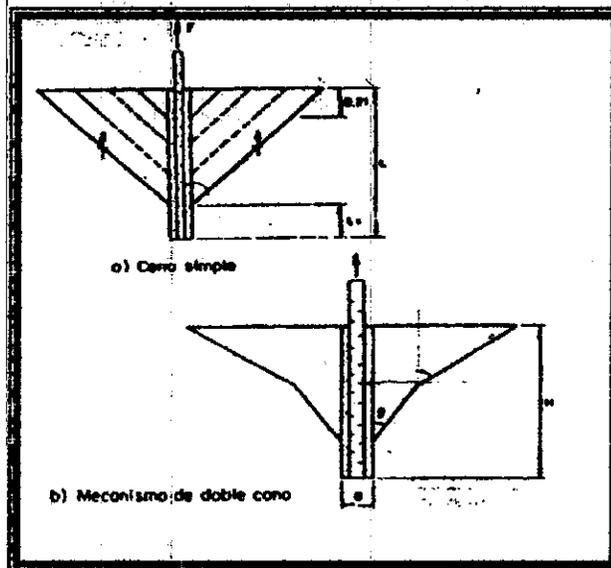


Fig.25

A medida que la carga aumenta, una longitud cada vez mayor de la barra anclada es solicitada para la transmisión de esfuerzos al concreto (fig- 25 a).

En la práctica, para barras ancladas con resinas rara vez se encuentra un cono con inclinación de 45° , lo que es más usual es encontrar la superficie de falla con una doble inclinación (fig. 25b).

En el extremo inferior del anclaje la superficie de falla se aproxima a la inclinación teórica de 45° , a medida que el agrietamiento se extiende hacia la superficie, la porción no agrietada se flexiona, provocando con ello un cambio en la inclinación del agrietamiento.

Efecto de la profundidad de anclaje. La fuerza necesaria para la extracción de barras está relacionada directamente con la profundidad de anclaje, sin embargo, existe evidencia experimental que esta relación no es lineal (fig. 26).

Generalmente una longitud de adherencia comprendida entre 10 y 20 veces el diámetro proporciona el anclaje suficiente para desarrollar la capacidad máxima de la barra.

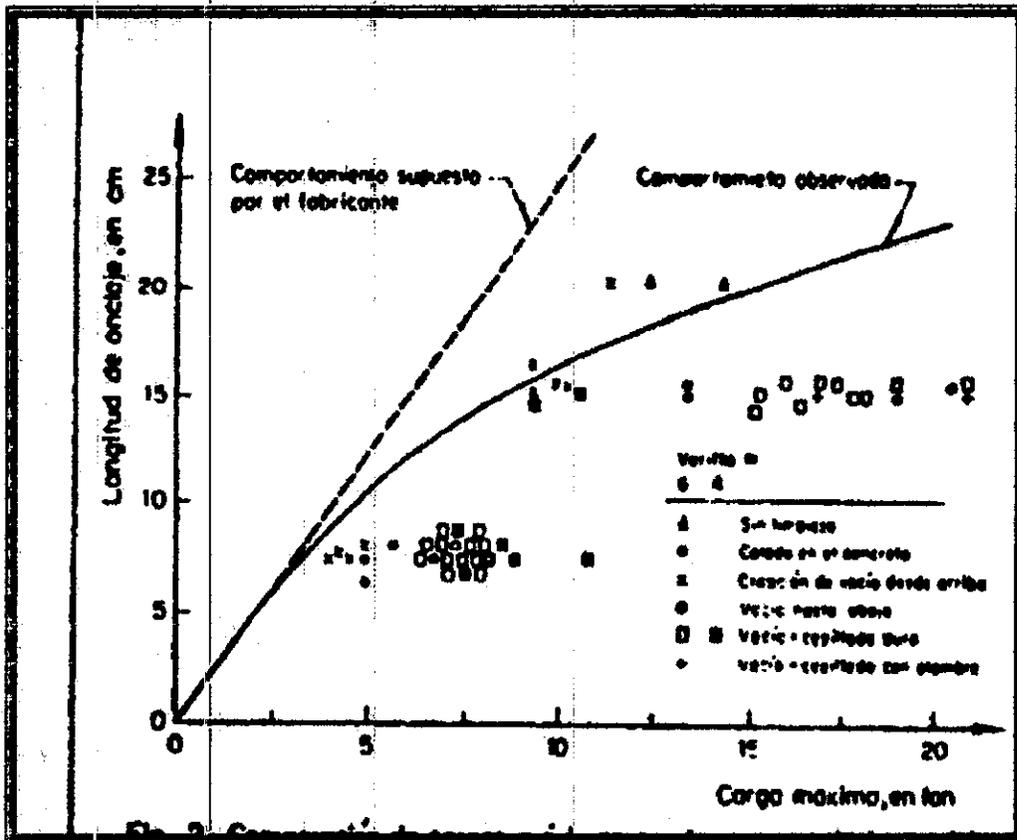


Fig 26

Dimensión de agujero para el anclaje. El tamaño del agujero para el anclaje está regido por el hecho de permitir una pequeña holgura entre concreto y acero, ya que los productos

epóxicos funcionan mejor con capas delgadas. Un diámetro de 6.4 mm (1/4") más grande que el diámetro de la varilla es el recomendado normalmente.

Recomendaciones de diseño: Existe muy poco publicado sobre anclajes de elementos de acero en el concreto. El comité ACI 349, que publicó normas de diseño para estructuras de concreto en reactores nucleares, agregó un Apéndice B en 1976 en donde se definen los requisitos mínimos para el diseño del anclaje de elementos de acero que transmiten cargas de elementos estructurales al concreto. El apéndice B, sin embargo, en su mayor parte es aplicable directamente a estructuras de concreto en general.

PROGRAMA DE ENSAYOS

Espécímenes. Los espécímenes utilizados en el ensayo de extracción de barras de acero tienen dimensiones de 30 x 25 x 50 cm (fig 27) que intentan reproducir la sección transversal de elementos estructurales tal como columnas o vigas.

Los espécímenes se reforzaron con varillas del No. 3 para evitar la falla frágil del concreto (splitting) y para confinar el anclaje. El armado consiste en dos anillos: uno de 24 x 24 cm y otro más grande de 44 x 24 cm colocados en 3 capas repartidos en la altura del espécimen, fig. 27.

Materiales. El concreto presentó una resistencia a la compresión que varió entre 390 y 460 kg/cm^2 . La resistencia a la tensión fue medida mediante un ensayo brasileño y en promedio se obtuvo un valor de 30kg/cm^2 . Los ensayos de compresión y tensión se realizaron un día anterior a la prueba de extracción de la varilla.

El proporcionamiento por metro cúbico de concreto fresco fue de 1000 kg de grava, 857 kg de arena y 320 kg de cemento.

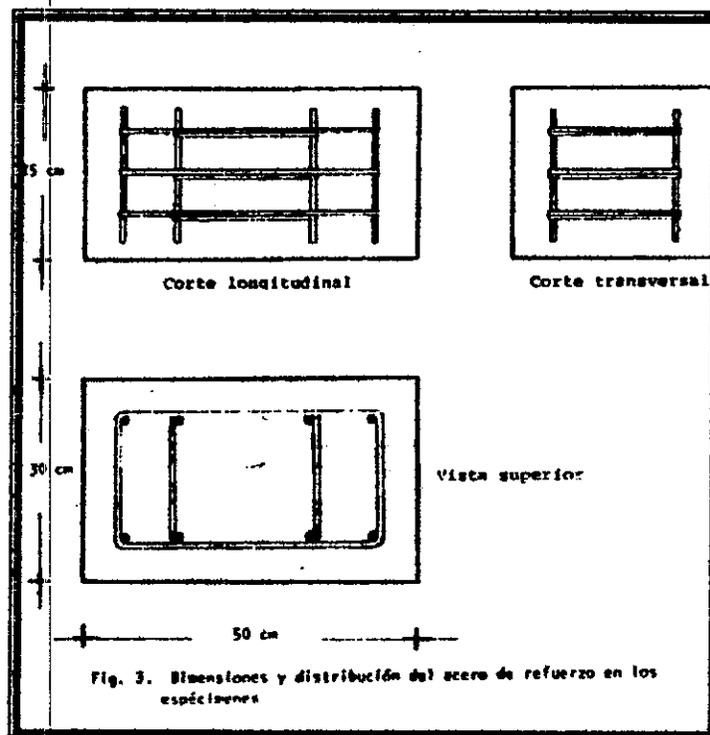


Fig 27

El diámetro de varilla utilizado en el anclaje fue de 1.59 cm (5/8"), el módulo de elasticidad del acero medido en una máquina universal fue de $1.95 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ y el esfuerzo de fluencia promedio fue de 4270 kg/cm^2 .

Productos epóxicos. Los productos epóxicos se formulan en dos partes: Parte A, porción que contiene la resina epóxica y Parte B, el endurecedor.

Efecto de la profundidad de anclaje. La fuerza necesaria para la extracción de barras está relacionada directamente con la profundidad de anclaje, sin embargo, existe evidencia experimental que esta relación no es lineal (fig. 26).

Generalmente una longitud de adherencia comprendida entre 10 y 20 veces el diámetro proporciona el anclaje suficiente para desarrollar la capacidad máxima de la barra.

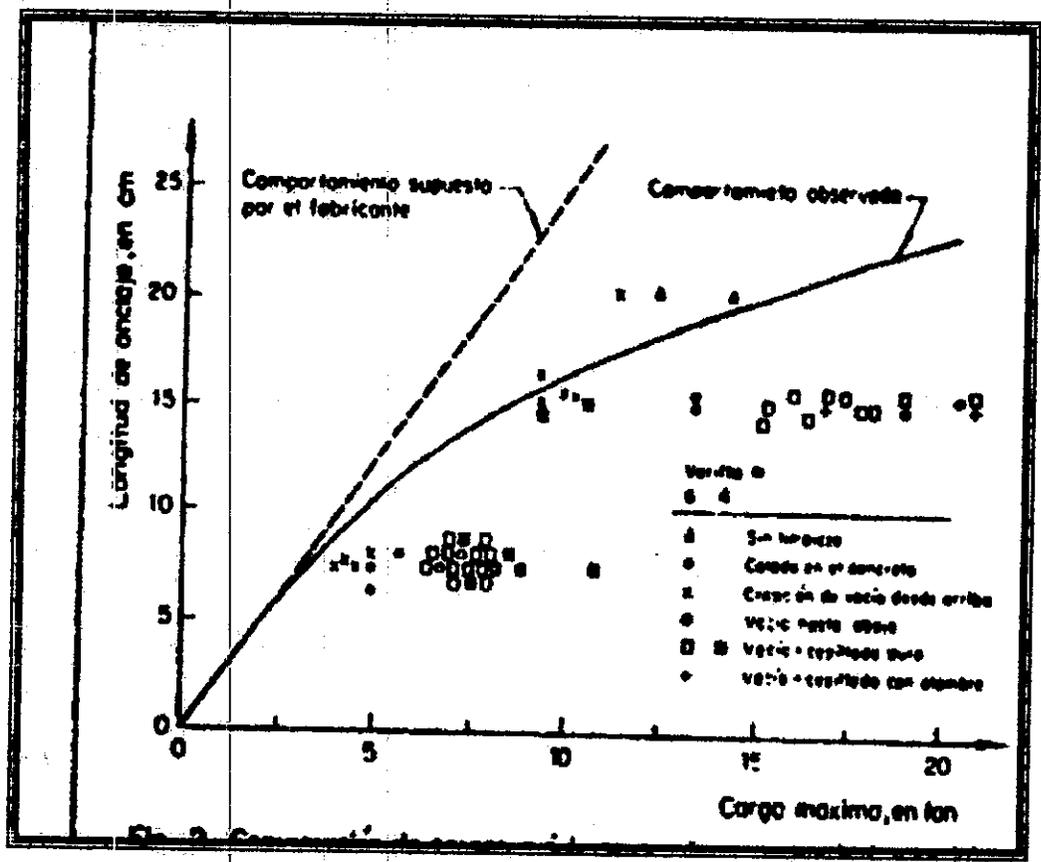


Fig 26

Dimensión de agujero para el anclaje. El tamaño del agujero para el anclaje está regido por el hecho de permitir una pequeña holgura entre concreto y acero, ya que los productos

Dispositivo de prueba. La extracción de varillas se realizó en una máquina MTS en la que la varilla se sujetó con el sistema de mordazas de la propia máquina. El prisma de concreto se fijó con un dispositivo que permitía una articulación en la base del prisma, fig. 28.

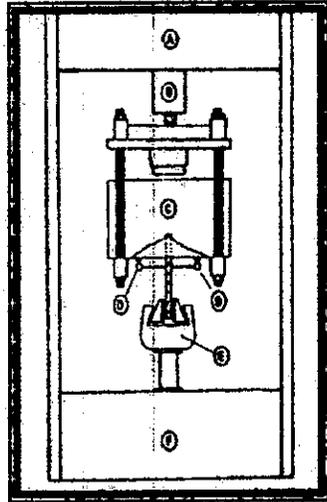


Fig 28

La medición de desplazamientos relativos entre la varilla y el concreto se realizó con la ayuda de dos micrómetros con precisión de 0.01 mm, de manera que se consideraba el promedio de las dos lecturas para obtener el desplazamiento final.

RESULTADOS

Carga inonótona. En las figs. 29, 30 y 31 se comparan los 4 productos epóxicos vaciados en las tres posiciones: vertical, horizontal y hacia arriba.

En la fig 29 se observa que los resultados de la carga máxima de extracción para los tres primeros productos son muy similares. La uniformidad de resultados de debe a que en la

posición vertical de colado de la resina se asegura más fácilmente que la barra quede ahogada en resina.

En la fig. 30 se muestra que en la posición horizontal de colado los productos 2 y 3 tienen respuestas muy similares, inclusive el nivel de carga máxima alcanzada es muy semejante al caso de la posición vertical de colado.

La fig. 31 presenta los resultados obtenidos en el caso de posición de colado hacia arriba, como se observa en esta figura, los resultados no son uniformes debido principalmente al método de limpieza y a la dificultad de introducir en esta posición la resina.

Carga cíclica. Esta serie de ensayos tuvieron como objetivo observar la degradación del anclaje cuando existen cargas y descargas sobre la varilla.

Se prepararon tres especímenes con distintos productos vaciados en posición vertical:

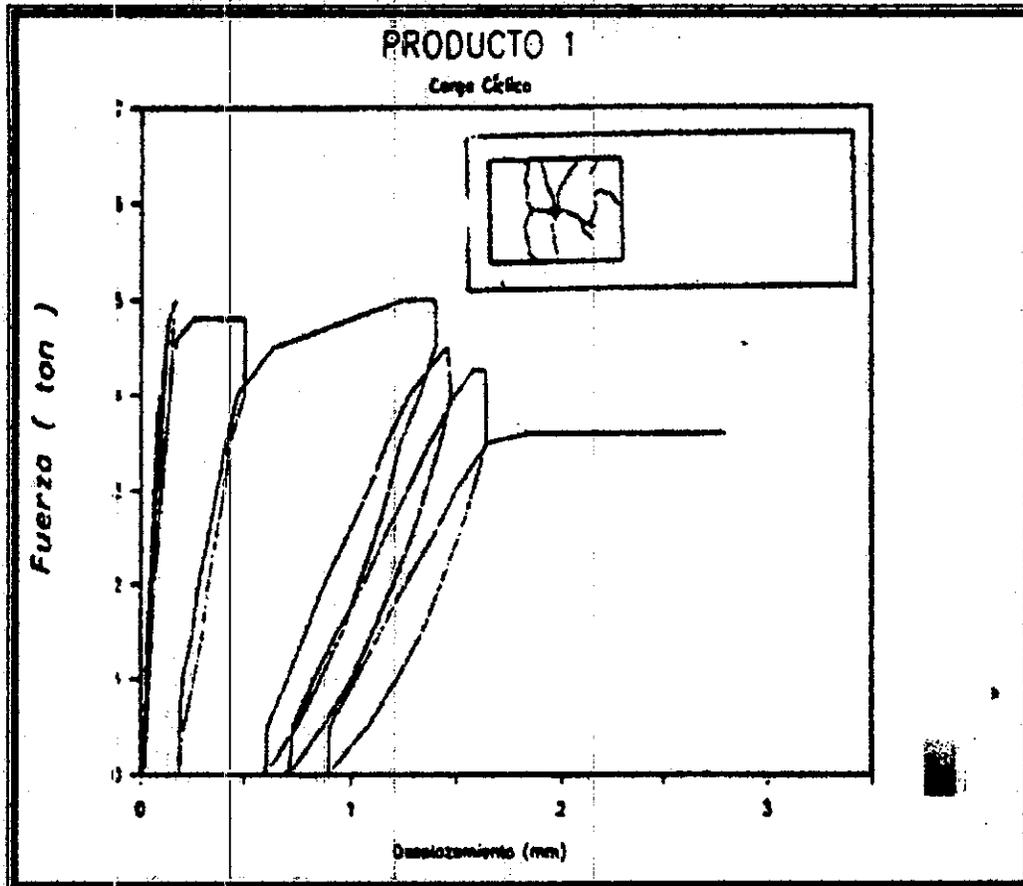


Fig 29

Producto 1. En este espécimen se observa una gran rigidez inicial, fig. 29; progresivamente sufre un deterioro importante cuando el nivel de carga iguala la carga máxima. Los desplazamientos máximos alcanzados en los ciclos fueron de 1.5 mm antes de la falla del anclaje.

Producto 2. El deterioro del anclaje comienza cuando el nivel de carga es aproximadamente el 80 por ciento de la carga máxima fig 29. Los desplazamientos relativos antes de la falla del anclaje fueron de 1.0 mm.

Producto 3. Durante los primeros ciclos y hasta niveles de carga cercanos a la máxima se observó una gran rigidez con poco desplazamiento relativo; sin embargo, para ciclos de carga repetitivos y para el mismo nivel de carga, el desplazamiento aumenta considerablemente y alcanza el valor de 5 mm antes de que ocurra el corrimiento final de la varilla, fig. 30.

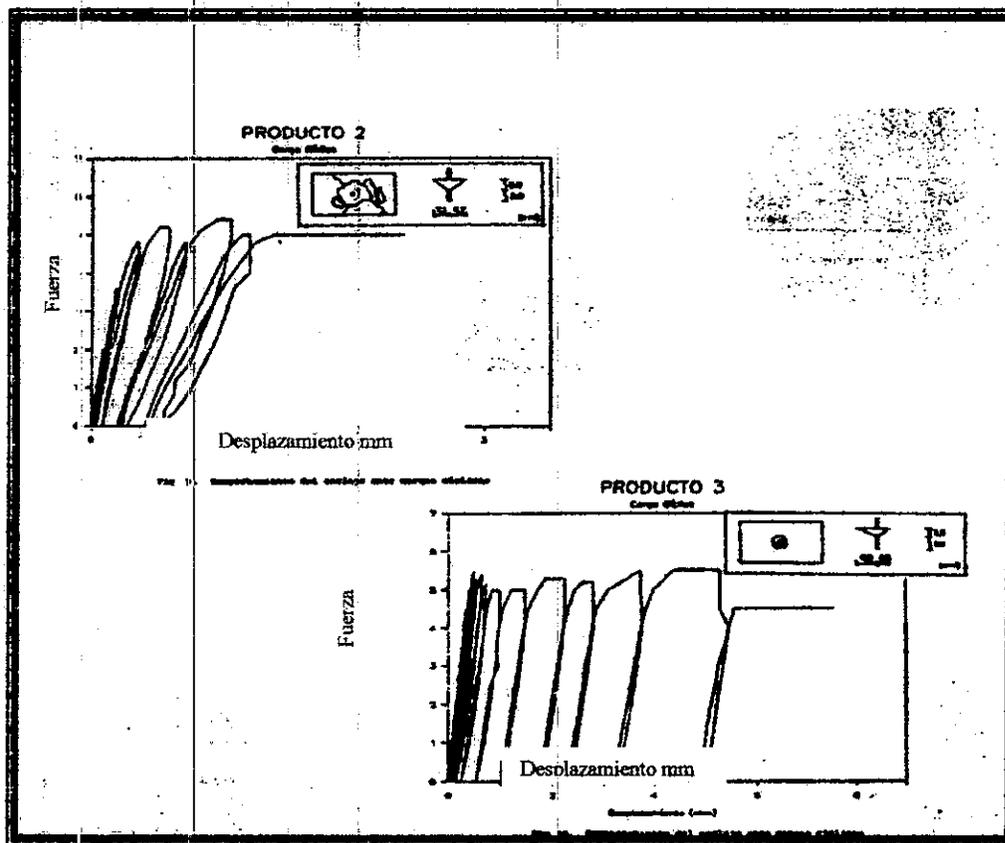


Fig 30

Durante esta serie de pruebas se puede decir que los desplazamientos finales de la varilla son del orden de 5 a 10 veces más grandes con respecto de los obtenidos en la parte del comportamiento inicial que es relativamente lineal.

Carga sostenida. Para estudiar el efecto de la permanencia de carga sobre el anclaje se prepararon 6 especímenes; dos de los cuales se utilizaron para conocer niveles máximos de carga y los cuatro restantes se sometieron a un cierto nivel de carga sostenida.

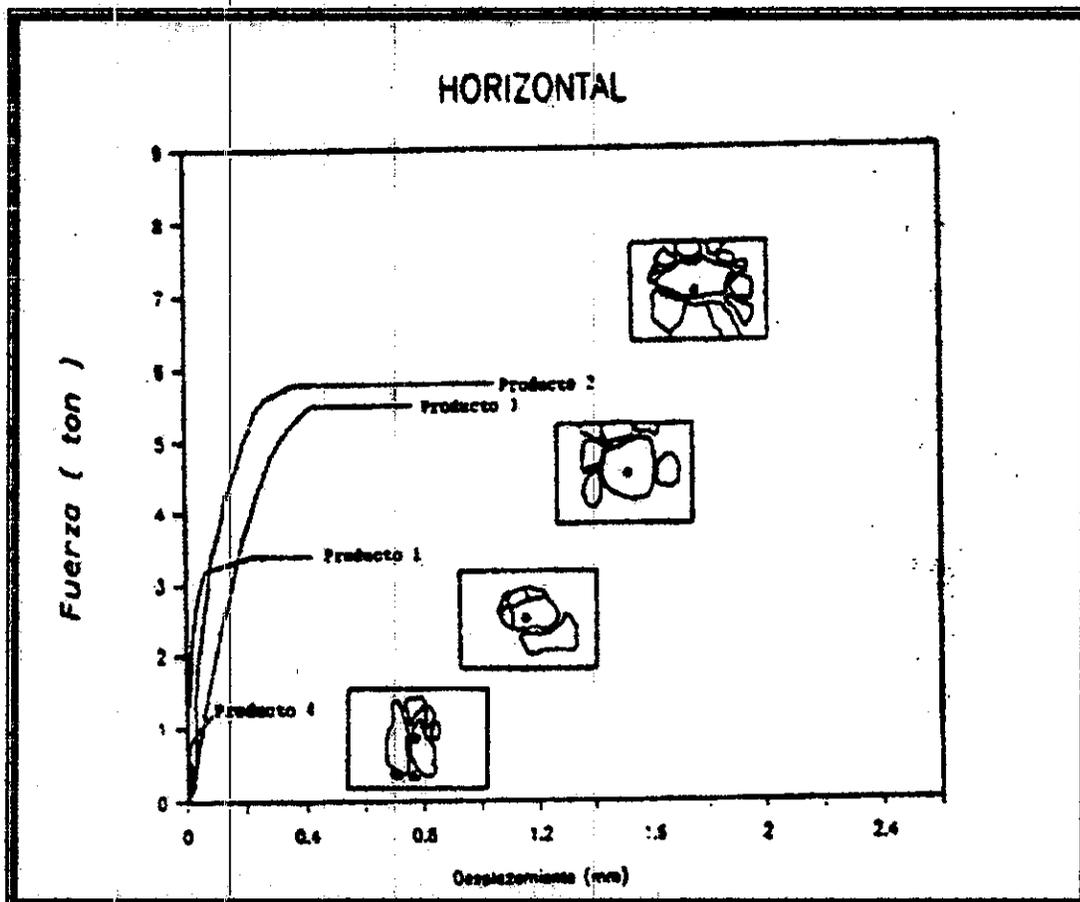


Fig. 31

Con el producto 1 se prepararon 2 especímenes anclados en posición vertical, utilizando el mismo método de limpieza. El primer espécimen se llevó a la falla para tener el nivel máximo de carga (6940 kg), mientras que el segundo se mantuvo a 60 y a 75 por ciento respecto a la carga máxima.

La curva de desplazamiento en función del tiempo, fig 32, muestra que después de una variación inicial al nivel de carga de 60 por ciento de la máxima el desplazamiento tiende a permanecer casi constante. Cuando ocurre un incremento de carga arriba de este nivel los desplazamientos aumentan con gran rapidez hasta que finalmente ocurre la falla.

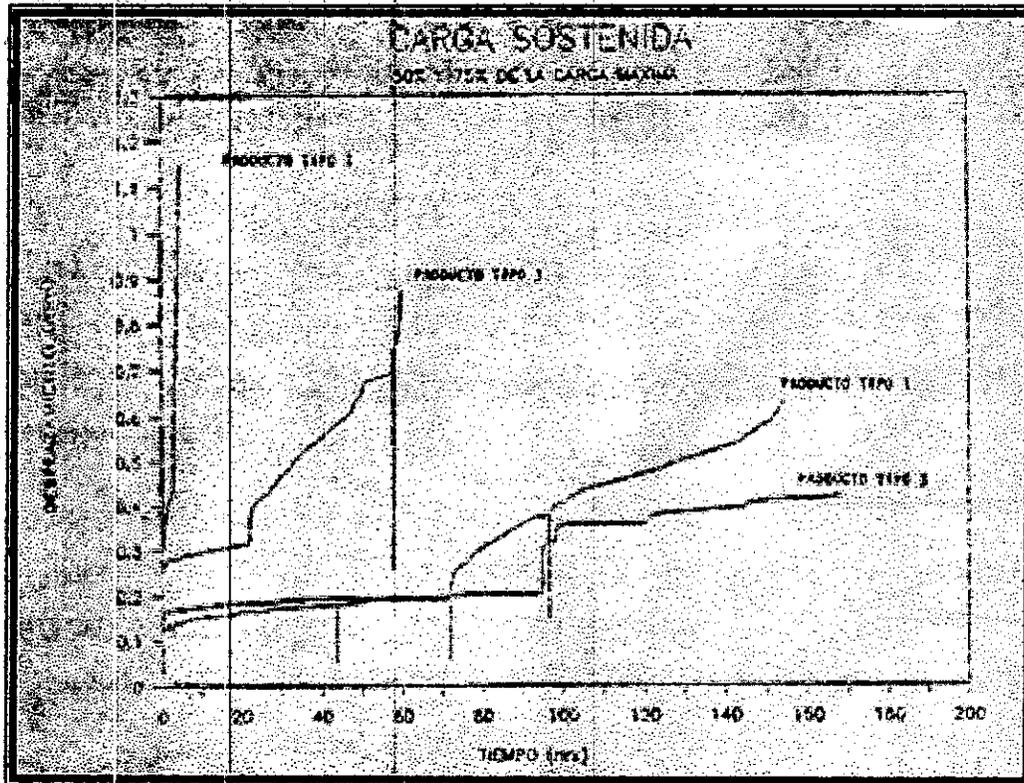


Fig 32

Con el producto 2 se realizó un ensayo en el que se impuso un desplazamiento inicial de 0.27 mra, en la fig. 32 se observa que este desplazamiento no permanece constante. Al ocurrir un ligero aumento de carga, la falla se presenta en un lapso muy corto, fig. 32. Con el producto 3 se prepararon tres especímenes, las varillas se anclaron en posición vertical y se utilizó el mismo método de limpieza.

Un espécimen se llevó a la falla para conocer el nivel máximo de carga (6980 kg). Posteriormente se colocó el segundo bajo carga sostenida, los niveles de carga variaron

entre 60 y 75 por ciento con respecto al máximo. Finalmente, el tercer espécimen se sometió a 50 y 75 por ciento de la carga máxima.

En general se observa que para niveles de carga del 50 por ciento de la carga máxima los desplazamientos en función del tiempo tienden a ser estables, mientras que para niveles de carga mayores del 60 por ciento los desplazamientos aumentan y no se estabilizan.

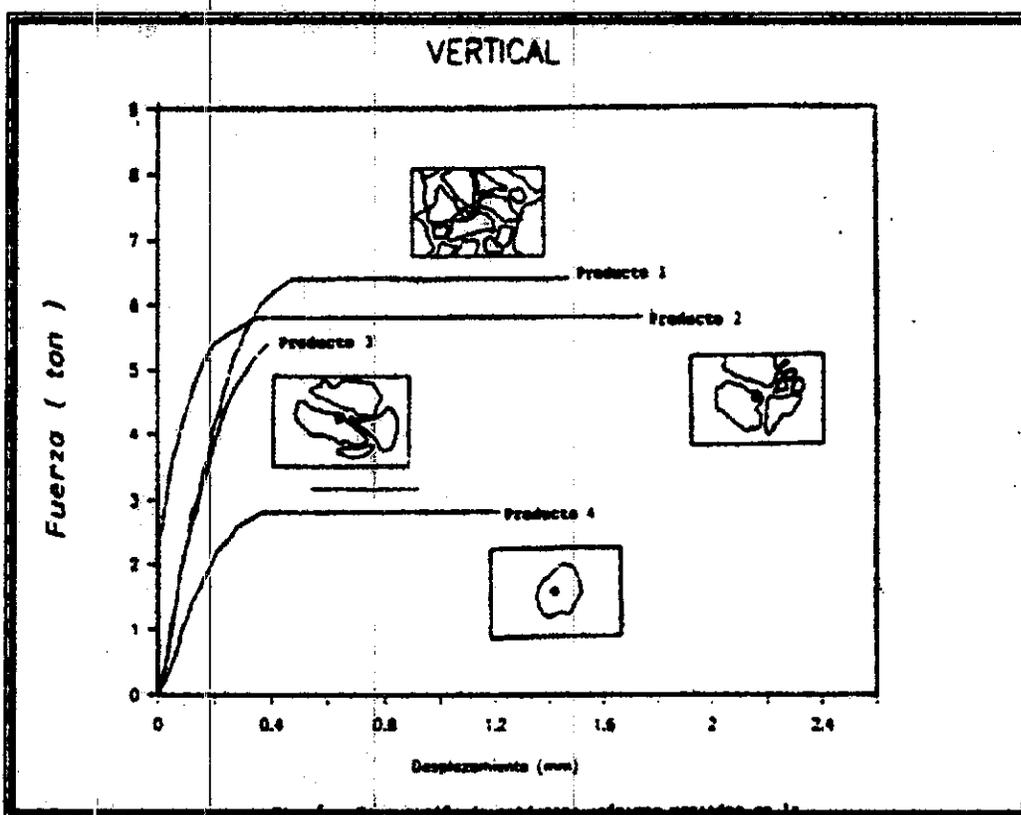


Fig 33

COMENTARIOS SOBRE EL DISEÑO DE ANCLAJES

Expresión para el cálculo de la carga última. Las recomendaciones del ACI para el diseño de conectores en el concreto suponen la formación de un cono de cortante con una inclinación de 45° . Esta recomendación también se establece en el PCI.

Para obtener una expresión que pueda predecir los resultados de extracción de la varilla, además de utilizar los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, se hizo la hipótesis que sobre el cono de cortante de la parte inferior del anclaje, la distribución de esfuerzos de tensión es uniforme e igual a la resistencia a tensión del concreto. Mientras que en el cono superior la distribución de esfuerzos disminuye hasta ser cero en su altura media. Esta hipótesis sería deseable verificarla con un estudio analítico más exhaustivo basado en elementos finitos.

Aceptando la hipótesis mencionada para obtener el volumen de esfuerzos de tensión en el concreto, se multiplica este volumen por el área lateral de las superficies de los conos superior e inferior de cortante, con lo que se obtiene la siguiente expresión:

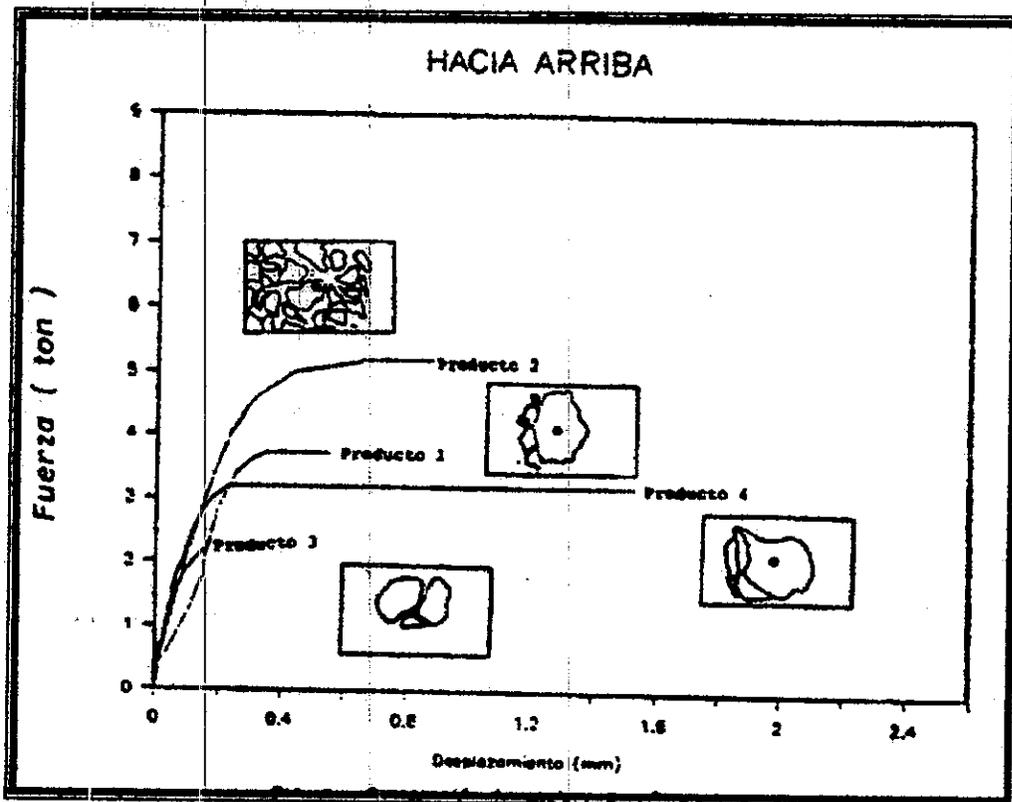


Fig 34

$P_u = C_1 \sqrt{f'_c} (l_{a_{ef}}) [1.1 l_{a_{ef}} + d_v + 0.32]$ donde P_u = carga última de extracción de la barra, (kg).

- $C_1 = 4.3$
- $l_{a_{ef}}$ = longitud efectiva de anclaje depende del método de limpieza y de la longitud total de anclaje (cm)
- d_v = diámetro de varilla, (cm)
- f'_c = esfuerzo máximo del concreto,

La expresión propuesta es muy semejante a la que se obtiene siguiendo el Reglamento del ACI, que supone la formación del cono de cortante a 45°.

$$P_u = 4.72 \sqrt{f'_c} (l_a) (l_a + d_v)$$

Esta expresión se asemeja a la propuesta en este trabajo a condición de que el término (l_a) no sea la longitud total sino solamente la longitud efectiva.

Longitud efectiva de anclaje. De los resultados experimentales se puede concluir que la longitud efectiva de anclaje es la principal variable en la obtención de una expresión para predecir la carga última de extracción de la varilla. En consecuencia, se pueden dar las siguientes recomendaciones en la estimación de la longitud efectiva de anclaje.

a) Método deficiente de limpieza y elementos estructurales no masivos:

Si $la > 10 \text{ cm}$, $la_{ef} = 0.5la$

Si $la \leq 10 \text{ cm}$, $la_{ef} = 0.6 la$.

b) Método muy eficiente de limpieza y elementos de concreto masivos:

$la \leq 10 \text{ cm}$, $la_{ef} = la$

$la > 10 \text{ cm}$, $la_{ef} = 0.4 (la) + 6$, donde: $la =$ longitud total de anclaje, (cm).

Al aplicar la expresión propuesta en este trabajo con los valores de la longitud de anclaje efectiva se tienen los valores que se presentan en la figura 35.

TABLA 1. RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS UTILIZANDO EL METODO DE LIMPIEZA CON CEPILLO						
Producto	Posición tipo de carga	Longitud adherida (cm)	f_c (kg/cm^2)	P_{max} (kg)	P_{TEOR} (kg)	P_{MAX}/P_{TEOR}
P.1	horizontal	3.8	460	3610	5804.11	0.62
	hacia arriba	4.8		3720	5804.11	0.64
	vertical	8		6430	5804.11	1.11
P.2	horizontal	6.1	460	6040	5804.11	1.04
	hacia arriba	8.5	460	5200	5804.11	0.90
	vertical	7.1	460	5830	5804.11	1.00
P.3	horizontal	7.5	390	3424	5344.28	0.64
	hacia arriba	2.9	390	2310	5344.28	0.43
	vertical	6.6	390	5450	5344.28	1.02
P.4	horizontal	2.8	390	1200	5344.28	0.22
	hacia arriba	4.5	390	3400	5344.28	0.64
	vertical	3.0	390	2820	5344.28	0.53
UTILIZANDO EL METODO DE LIMPIEZA CON COMPRESORA						
P1	horizontal	8	405	5445	5446.08	1.00
	hacia arriba		380	6214	5275.32	1.18
P2	horizontal	5.6	383	5369	5296.09	1.02
	hacia arriba	6.8	390	6422	5272.32	1.22
P3	horizontal	5.5	405	5812	5445.08	1.07
	vertical	4	380	4480	5275.32	1.18
P2	(cíclica) vertical	5	383	5400	5296.09	1.02
	(alternada) vertical	7.8	405	5381	5446.08	0.99
P1	(alternada) vertical	7.2	383	5015	5296.09	0.95
	(cíclica) vertical		405	5500	5446.08	1.01
P3	(cíclica) vertical	3.3	383	5543	5296.09	1.05
	(alternada) vertical	6.8	405	5750	5446.08	1.06

Fig 35

CONCLUSIONES

El método de limpieza para anclar barras con resinas epóxicas es una de las variables de mayor importancia. En el caso de alternación de carga sobre el anclaje de degradación en rigidez y resistencia comienza aproximadamente para niveles de carga de 75 por ciento de la máxima. Bajo carga sostenida se observa que para niveles de carga de 50 por ciento de la máxima los deslizamientos relativos del anclaje con respecto a los del concreto permanecen con muy poca variación, para niveles mayores de carga las deformaciones relativas tienden a aumentar, sin llegar a estabilizarse.

El reglamento del ACI supone un cono simple de falla a 45° para proponer una expresión a la carga última en la extracción de barras ancladas en el concreto. En este trabajo se propone una expresión que tome en cuenta la formación de conos de falla con doble inclinación. Sin embargo, los resultados de la carga última de extracción son muy cercanos siempre que se tome en cuenta una longitud efectiva de anclaje en lugar de la longitud total de la varilla ahogada en el concreto. Además de considerar la longitud efectiva de anclaje se recomienda para propósitos de diseño tomar factores de reducción de 50 por ciento en la expresión para predecir la carga última de extracción debido a que puede estar sometida a cargas cíclicas o cargas sostenidas durante su vida útil en la estructura.

3. ETAPA EXPERIMENTAL

3.1 ANTECEDENTES

De acuerdo a los estudios realizados en las consideraciones teóricas, el conocimiento y la experiencia de los ingenieros que participaron en el proyecto, se establecieron las pautas que debían cumplir los modelos a ensayar, dentro de la normativa que rigen el diseño y la construcción.



Fig. 36. Equipo para pruebas de tensión, usado por Ramset Red / Head

Las casas productoras de anclajes mantienen un registro periódico de pruebas que garantizan la efectividad y la calidad de sus productos.

En el caso de Ramset / Red Head posee un catálogo con la estructura, información para diseño, información aplicada, además del registro de las pruebas realizadas a sus sistemas de fijación. Este catálogo ha sido una de las pautas para el modelo de diseño de los ensayos de tensión de las barras, como se muestra en la figura 36.

Por otra parte en el artículo "Anclaje de barras de acero utilizando resinas epóxicas" de la revista construcción y tecnología de septiembre de 1990, se presenta un estudio experimental sobre las aplicaciones de este tipo de anclaje en elementos de concreto reforzado (ver sección 2.5). En la figura 37 se muestra el modelo de ensayo empleado.

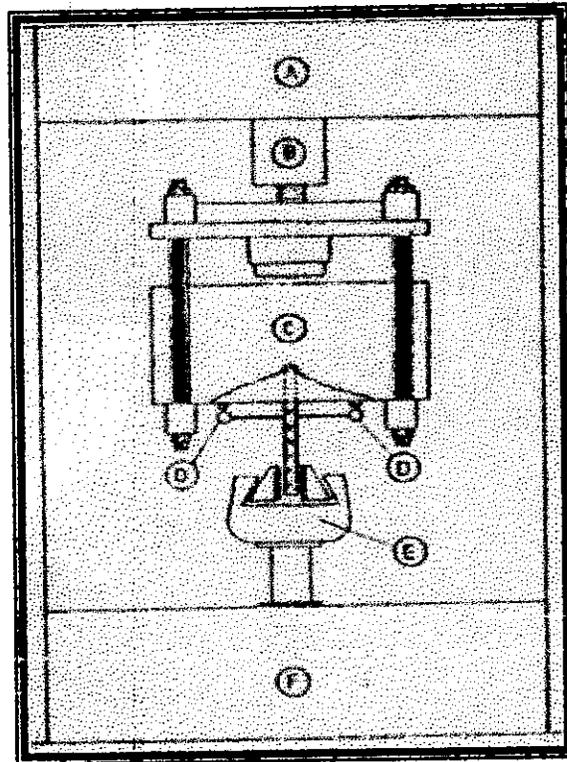


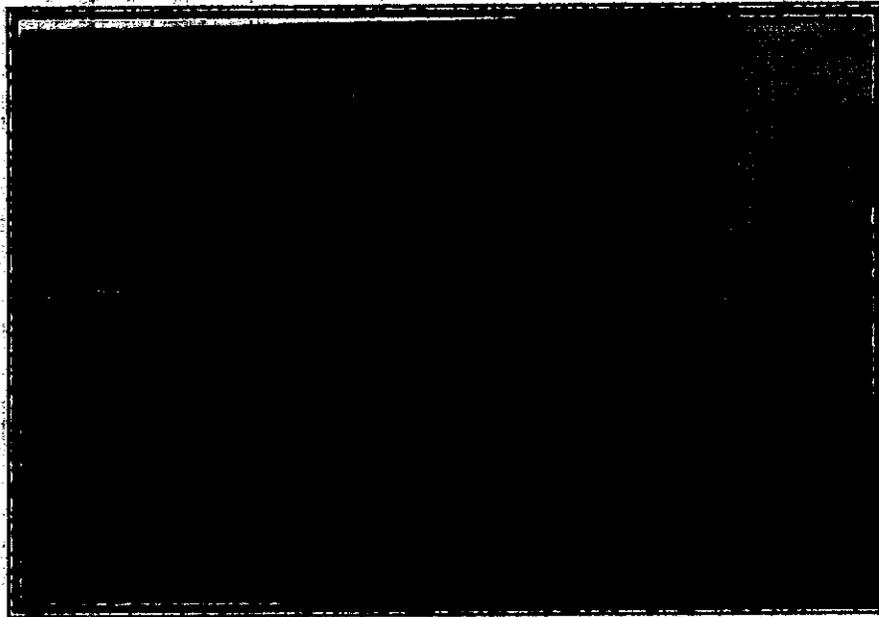
Fig 37 Esquema de la máquina de ensayo. Construcción y tecnología / septiembre 1990

En las pruebas para diámetros superiores, en donde se necesita una capacidad de carga superior se necesitan escalas mayores en los modelos, y el método que se emplea para ensayarlas se asemeja a las pruebas de carga sobre pilotes.

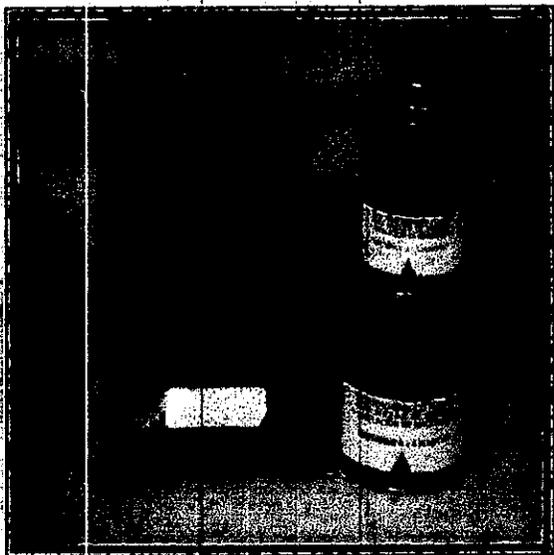
3.2 SELECCIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS

Teniendo en cuenta el uso masivo del concreto en nuestro medio, y la utilización cada vez en mayor escala de elementos anclados después de su endurecimiento, se ha tratado de representar, tanto en los materiales como en los procedimientos constructivos, lo que hoy por hoy se presenta en la realidad a la hora de construir.

En cuanto a los concretos, las resistencias más comunes están en el rango de los 2500 a los 4500 PSI, razón por la cual se realizaron ensayos en concretos cuyos valores se encuentran dentro de éste intervalo con materiales típicos. De igual forma, las varillas utilizadas para el anclaje son aceros corrugados PDR 60, utilizadas también como acero de refuerzo en las estructuras actualmente. Los morteros epóxicos utilizados son los representativos de las casas productoras TOXEMENT S.A, y SIKA ANDINA S.A con sus productos Toc-8004-1 anclaje y Sikadur 42 anclaje.



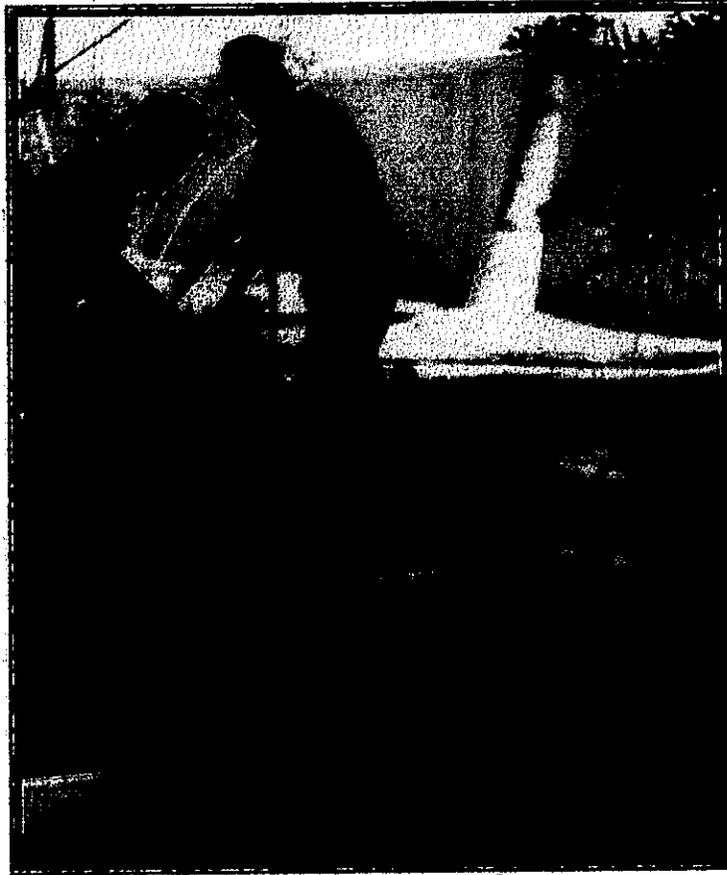
Control de calidad de los concretos. Concretos Premezclados



Sikadur 42 anclaje



Toc-8004-1 anclaje



Varillas corrugadas. PDR 60

3.3 DISEÑO DE LOS MODELOS DE ENSAYO

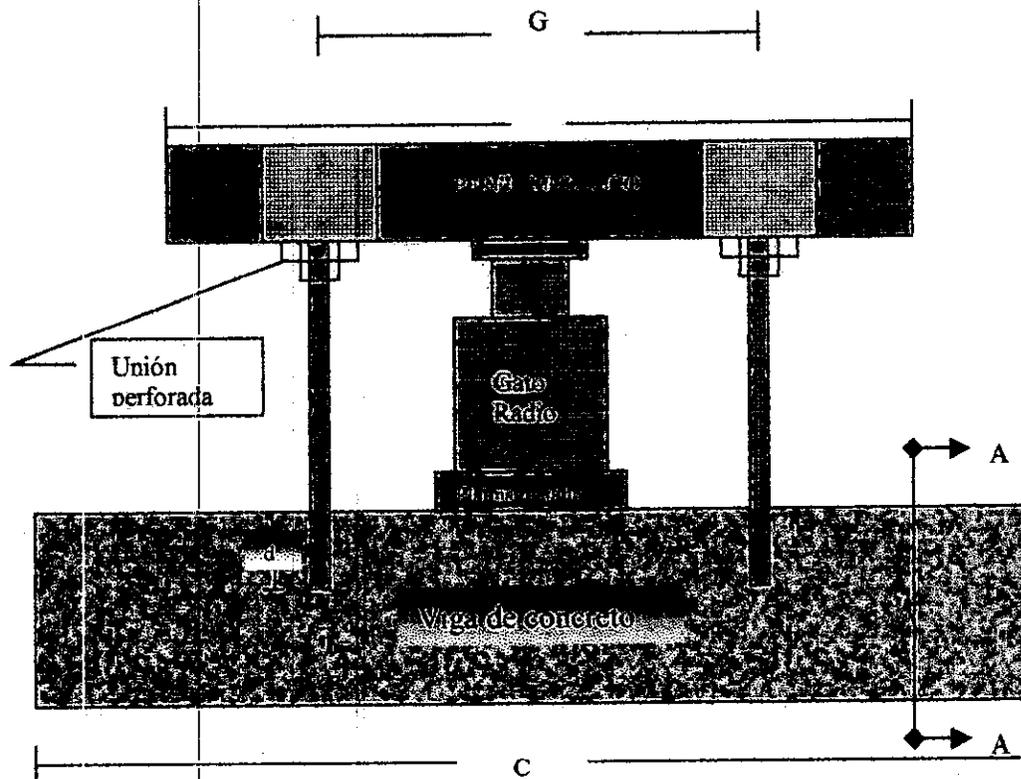
El diseño de los elementos utilizados en los ensayos se hizo de acuerdo a las limitaciones y características propias de los mismos, atendiendo a las cargas máximas esperadas y a las formulaciones de diseño en concreto y de elementos metálicos. Además de esto, el diseño siempre estuvo ligado a la disponibilidad de los recursos, por esta razón se idearon dos tipos de ensayo que a continuación se describen:

3.3.1 MODELOS DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCION DE LAS VARILLAS UTILIZANDO EL TOC 8004-1 ANCLAJE

El modelo para la extracción de varillas se diseñó con la ley de acción y reacción similar al principio de la prueba de carga en pilotes. Los parámetros tenidos en cuenta fueron los siguientes:

- La longitud de anclaje de las varillas es 10 veces su diámetro en concretos con resistencias mayores a 3000 PSI y 15 veces el diámetro para concretos con valores menores de resistencia.
- Permitir el desarrollo del cono de falla que forma un ángulo aproximado de 45° (con base en investigaciones anteriores) a partir del extremo inferior de la varilla.
- El anclaje se realiza con varillas corrugadas de diámetros 1/2", 3/4" y 1".
- Los concretos utilizados los suministra PREMEZCLADOS S.A. y su resistencia está entre 2500 PSI y 4500 PSI.
- Los elementos indeformables se diseñan para el caso extremo de rotura en la varilla.

3.3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOLDES DE CONCRETO



Los moldes de concreto se diseñaron teniendo en cuenta que se ubica un gato hidráulico, con dial medidor de carga, en el centro de la viga, conformandose una zona de compresión debajo de la superficie de este. La carga suministrada por el gato es tomada por dos varillas de igual diámetro roscadas en un extremo (ver fotografía 1), dispuestas simétricamente con respecto a los ejes ortogonales de la viga. La transmisión de la carga del gato a las varillas se da a través de un perfil metálico rígido al que se le diseñaron unas incrustaciones en donde se fijan las varillas por medio de tuercas. Un esquema muy general de la estática del ensayo es el que se muestra en la figura anterior.

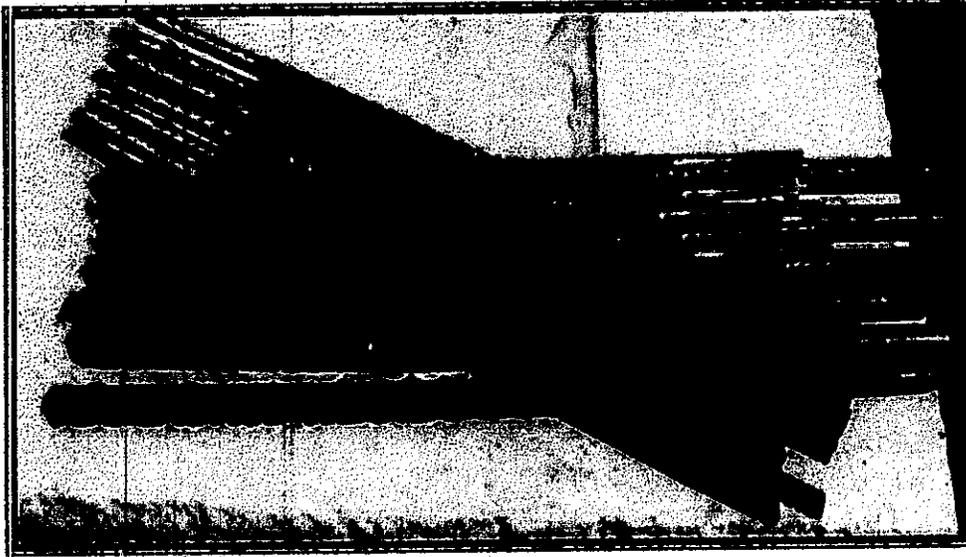


Foto 1. Varillas torneadas para anclaje

Las dimensiones de los moldes de concreto se discriminan en la siguiente tabla

Barra Anclada	Longitud Anclada (a)	Espacio libre para ubicar el gato (b)	Dimensiones		
			Ancho (2a)	Alto (a+10)	Largo (4a+b)
No 4	20 cm	50 cm	50 cm	30 cm	130 cm
No 6	30 cm	50 cm	60 cm	40 cm	170 cm
No 8	40 cm	50 cm	80 cm	50 cm	210 cm

Tabla 2.

3.3.1.1.1 DISEÑO A FLEXION DE LOS MOLDES

El diseño a flexión de los moldes se hizo teniendo en cuenta que no se deben presentar deflexiones para así obtener una distribución simétrica de la carga.

CALCULO DE LAS CARGAS ACTUANTES DISEÑO A FLEXION DE LOS MODELOS DE CONCRETO														
Barra Anclada	f _c (PSI)	Area De la barra (cm ²)	Longitud Anclada (cm)	Dimensiones			Esf. Último del acero (Kg/cm ²)	C de servicio en la barra (Ton)	C. de rotura Mayorada (Ton)	C. última en el gato. (Ton)	Distancia entre barras (cm)	Mu (Ton*cm)	As Requerido (cm ²)	Deform. (cm)
				Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)								
No 4	3000	1,29	19	50	30	130	5600	7,2	12,3	25	90	552,6	6,28	0,011
No 4	3500	1,29	19	50	30	130	5600	7,2	12,3	25	90	552,6	6,23	0,011
No 4	4000	1,29	19	50	30	130	5600	7,2	12,3	25	90	552,6	6,18	0,011
No 6	3000	2,84	29	60	40	170	5600	15,9	27,0	54	110	1487,0	12,13	0,016
No 6	3500	2,84	29	60	40	170	5600	15,9	27,0	54	110	1487,0	12	0,016
No 6	4000	2,84	29	60	40	170	5600	15,9	27,0	54	110	1487,0	11,9	0,016
No 8	3000	5,10	38	80	50	210	5600	28,6	48,6	97	130	3155,9	19,81	0,016
No 8	3500	5,10	38	80	50	210	5600	28,6	48,6	97	130	3155,9	19,61	0,016
No 8	4000	5,10	38	80	50	210	5600	28,6	48,6	97	130	3155,9	19,46	0,016

Tabla 1. Diseño a flexión de los moldes de concreto.

En la tabla 1 se muestra el calculo de las áreas de acero necesarias a flexión. En las gráficas siguientes se muestra el diseño definitivo.

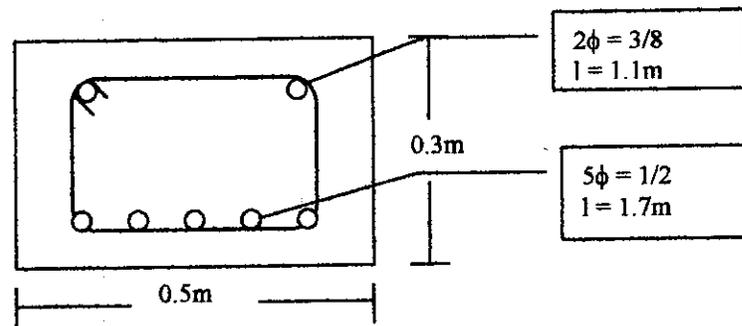


Fig. 38. Detalle de refuerzo para anclar varillas No 4.

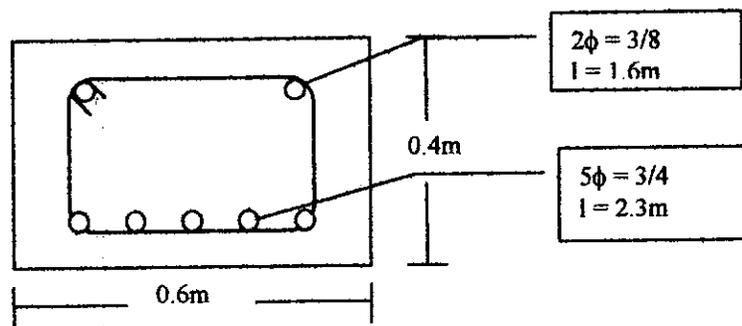


Fig. 39. Detalle de refuerzo para anclar varillas No 6.

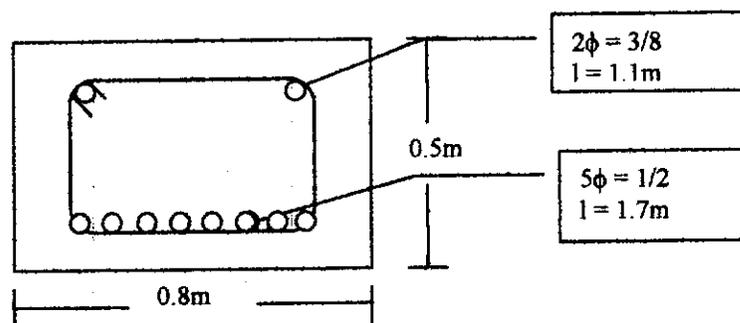


Fig. 40. Detalle de refuerzo para anclar varillas No 8.

3.3.1.1.2 DISEÑO A CORTANTE DE LOS MOLDES

Los estribos que se calculan a continuación corresponden a estribos de 3/8" de dos ramas y se encuentran ubicados en los moldes de concreto en la zona inferior al gato.

- BARRA No 4

$$V_U = 12410 \text{ Kg}$$

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f_c} * b_w * d = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 50 * 25 = 8160 \text{ Kg}$$

$$V_s = \frac{V_U - V_c}{\phi} = \frac{12410 - 8160}{0.85} = 5000 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{1.42 * 2540 * 25}{5000} = 18.39 \text{ cm, se toma } S = 15 \text{ cm}$$

- BARRA No 6

$$V_U = 27200 \text{ Kg}$$

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f_c} * b_w * d = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 60 * 35 = 13709 \text{ Kg}$$

$$V_s = \frac{V_U - V_c}{\phi} = \frac{27200 - 13709}{0.85} = 15872 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{1.42 * 2540 * 35}{15872} = 8 \text{ cm}$$

- BARRA No 8

$$V_U = 48500 \text{ Kg}$$

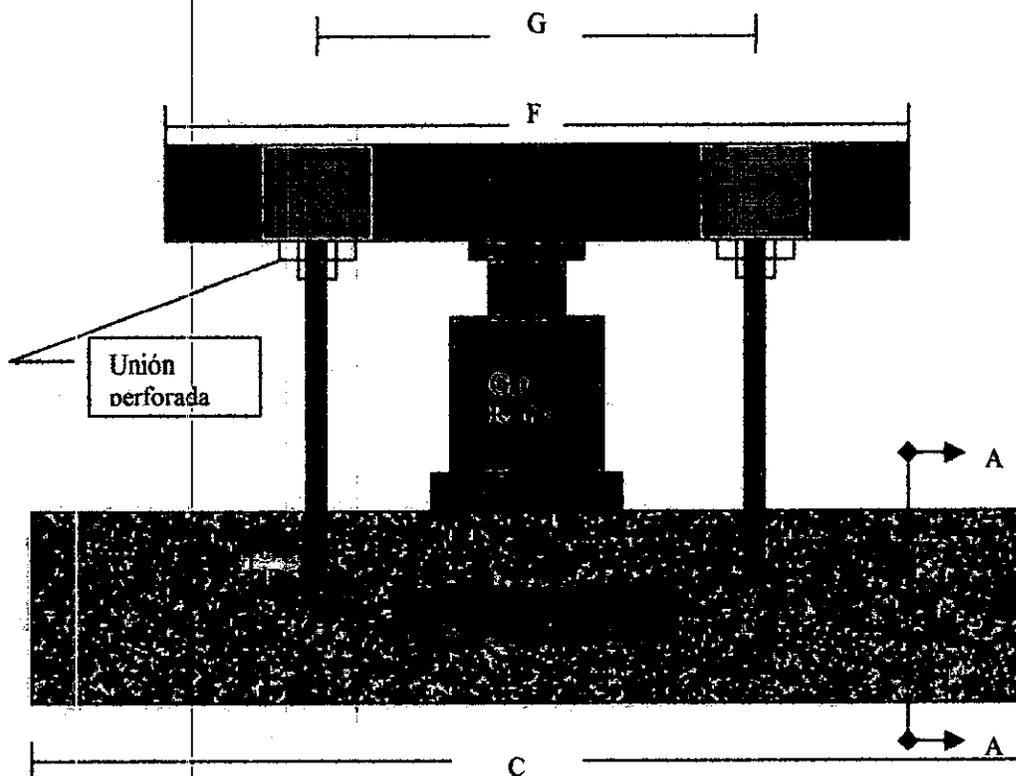
$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{f_c} * b_w * d = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 80 * 45 = 23502 \text{ Kg}$$

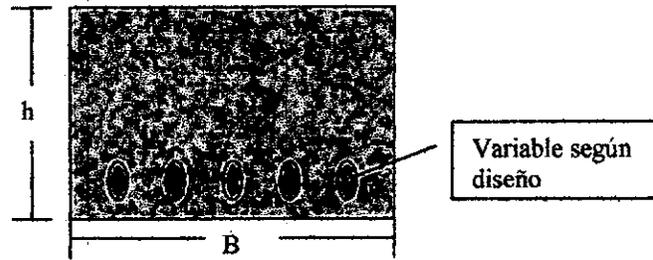
$$V_s = \frac{V_U - V_C}{\phi} = \frac{48500 - 23502}{0.85} = 29410 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s} = \frac{1.42 * 2540 * 45}{29410} = 5 \text{ cm}$$

3.3.1.2 DISEÑO DE LOS COMPONENTES METÁLICOS USADOS EN EL ENSAYO.

MONTAJE DEL ENSAYO Y DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES METALICOS:





CORTE AA

DIMENSIONES

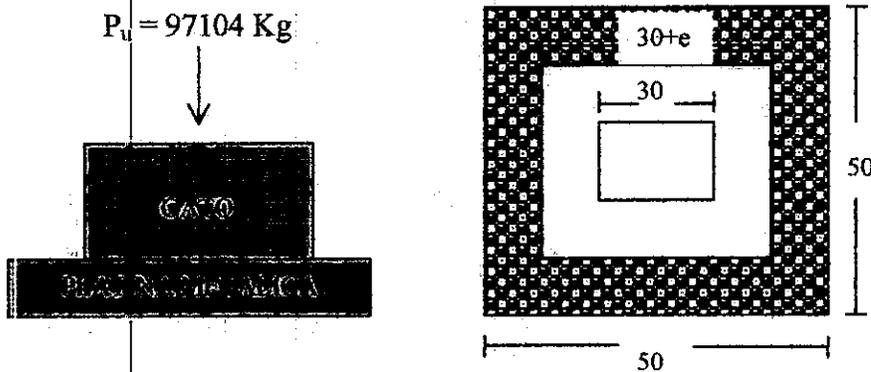
ϕ (PULG)	A(CM)	B(CM)	H(CM)	D(MIN)	C(CM)	G(CM)	F(CM)	R(CM)
1/2	50	50	30	19.05	130	45	170	30
3/4	50	60	40	28.6	170	55	170	30
1	50	80	50	38.1	210	65	170	30

ELEMENTOS METALICOS

1. **PLATINA METALICA:** actúa como soporte del gato de radio 30cm y su función es distribuir la carga concentrada del gato en la sección de concreto inferior. Sus dimensiones en planta son de 50cm x 50cm, y su diseño consiste en determinar el espesor necesario para transmitir un esfuerzo uniformemente distribuido sobre el concreto. El comportamiento estructural de la platina metálica se asemeja a una zapata.

Para el diseño tomamos en cuenta el caso crítico de la rotura de la barra en el ensayo de barras de 1".

ESFUERZO DE ROTURA EN LAS BARRAS DE 60000PSI:	5600Kg/cm ²
AREA DE LA BARRA DE 1":	5.10cm ²
CARGA DE ROTURA:	5600 x 2.10= 28560Kg
CARGA DE SERVICIO EN EL GATO:	2 x 28560= 57120Kg
CARGA MAYORADA EN EL GATO:	1.7 x 57120= 97104Kg



$$\begin{aligned} \text{AREA DE LA PLATINA} &= 50\text{cm} \times 50\text{cm} \\ &= 2500\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$F_P = P/A = 97104\text{Kg} / 2500\text{cm}^2$$

$$F_P = 38.84\text{kg/cm}^2$$

$$F_P = 554.86 \text{ PSI}$$

El módulo de la sección de una placa de 1" de ancho y de espesor t, vale

$$S = \frac{I}{C} = \frac{1/12 \times 1'' \times t^3}{t/2} \rightarrow S = \frac{t^2}{6}$$

Ya que el esfuerzo es $Mc/I = M/S$, el espesor requerido en la placa puede determinarse

$$F_b = \frac{M}{S} = F_p \times \frac{(3.94-t)^2/2}{t^2/6}$$

Fb permisible en acero A-36 es 22000Psi:

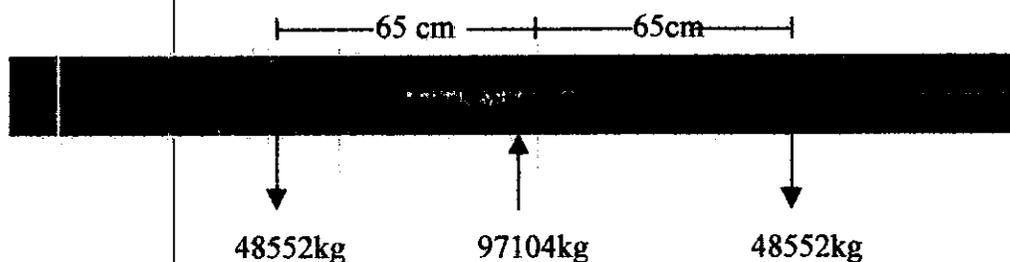
$$F_b = \frac{1664.57 (3.94-t)^2}{t^2}$$

Suponiendo los esfuerzos comerciales:

$t = 1/2''$	$F_b = 78791.42\text{Psi}$	
$t = 3/4''$	$F_b = 30113.48\text{Psi}$	
$t = 7/8''$	$F_b = 14387\text{Psi}$	(OK)
$t = 1''$	$F_b = 20424.29\text{Psi}$	(OK)

2. PERFIL METALICO: el diseño del perfil metálico, consiste en seleccionar un perfil que sea lo suficientemente rígido para soportar las cargas actuantes, sin que se produzca deflexión considerable.

La condición crítica para su diseño es la suposición de rotura en el ensayo de la varilla de una pulgada:



$$M_{\max} = \frac{P L}{4} = \frac{97104 \text{ kg} \times 130 \text{ cm}}{4} = 3.155.880 \text{ kg cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{F_b} = \frac{3.155.880 \text{ kg cm}}{1540 \text{ kg/cm}^2} = 2049.2 \text{ cm}^3 \text{ (módulo de sección).}$$

Por tabla verificamos el tipo de perfil que más conviene, así:

El IPE- 550 tiene módulo de sección $\sigma = 2440 \text{ cm}^3 > 2049.2$ entonces OK.

El HEA 400 tiene módulo de sección $\sigma = 2310 \text{ cm}^3 > 2049.2$ entonces OK.

Chequeo de la deformación:

$$\delta = \frac{P L^3}{48EI} = \frac{97104 \times 130^3}{48 (2E6) (67120)} = 0.033 \text{ cm}$$

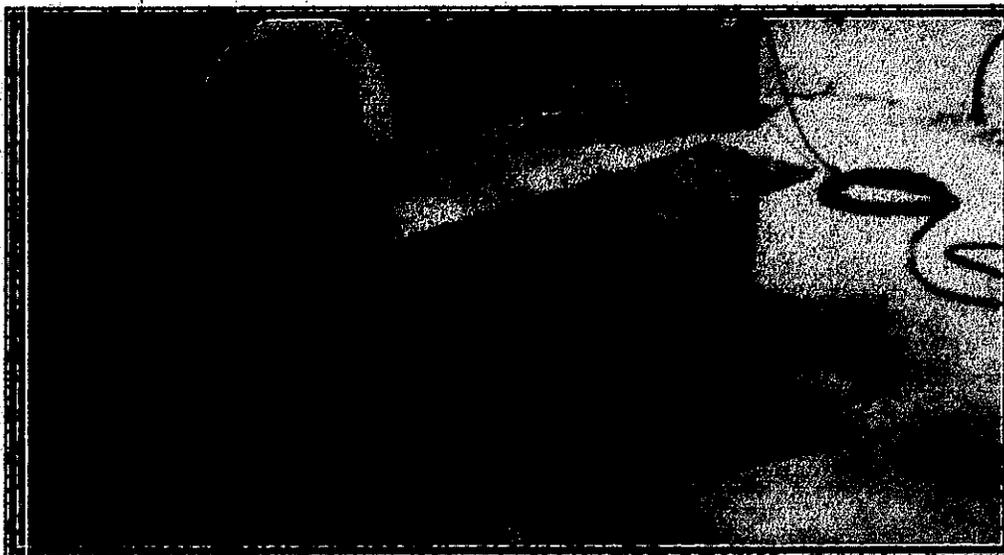
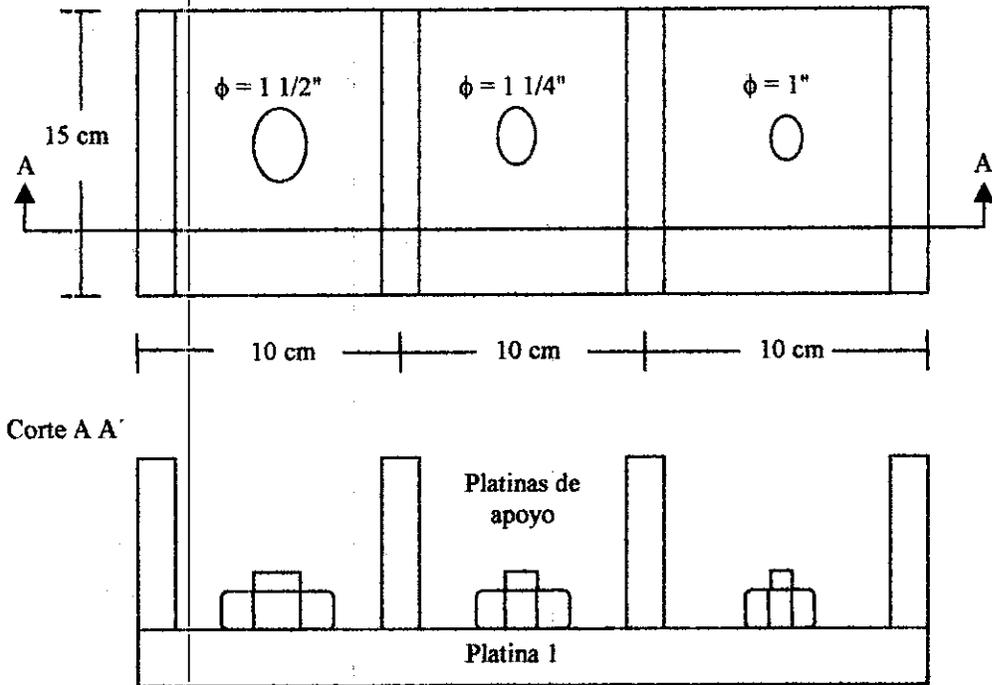


Foto 2. Perfil metálico HEA 450

3. SISTEMA DE SUJECIÓN DE LAS VARILLAS AL PERFIL METALICO

El sistema de sujeción se ideó como se muestra en la figura:



Al igual que los diseños anteriores, la suposición de cargas para la escogencia de las características de los materiales de esta parte del proyecto se hizo con las condiciones críticas, como sigue:

PLATINA 1:

Se diseño como un elemento apoyado. $M_{max} = 74\ \text{ton-cm}$

Módulo de la sección = $I/c = S = be^2/12$

Momento resistente = $M = S f_b$ $f_b = 1540\ \text{kg/cm}^2$

Para $e = 1\ 7/8''$ $M = 87.32\ \text{ton-cm} > 74\ \text{ton-cm}$

Para $e = 2''$ $M = 99.33\ \text{ton-cm} > 74\ \text{ton-cm}$ OK

PLÁTINAS DE APOYO

Se diseñaron a tensión

$P_{max} = 26.82 \text{ ton}$

Area de la sección = $A = 15 \times e$

Esfuerzo = $\sigma = P / A < 1540 \text{ kg/cm}^2$

Deformación = $\delta = P L / A E$

Para $e = 1/2''$ $\sigma = 1407 \text{ kg/cm}^2$ $\delta = 0.011 \text{ cm}$

Para $e = 5/8''$ $\sigma = 1126 \text{ kg/cm}^2$ $\delta = 0.006 \text{ cm}$

Para $e = 3/4''$ $\sigma = 940 \text{ kg/cm}^2$ $\delta = 0.003 \text{ cm}$ OK

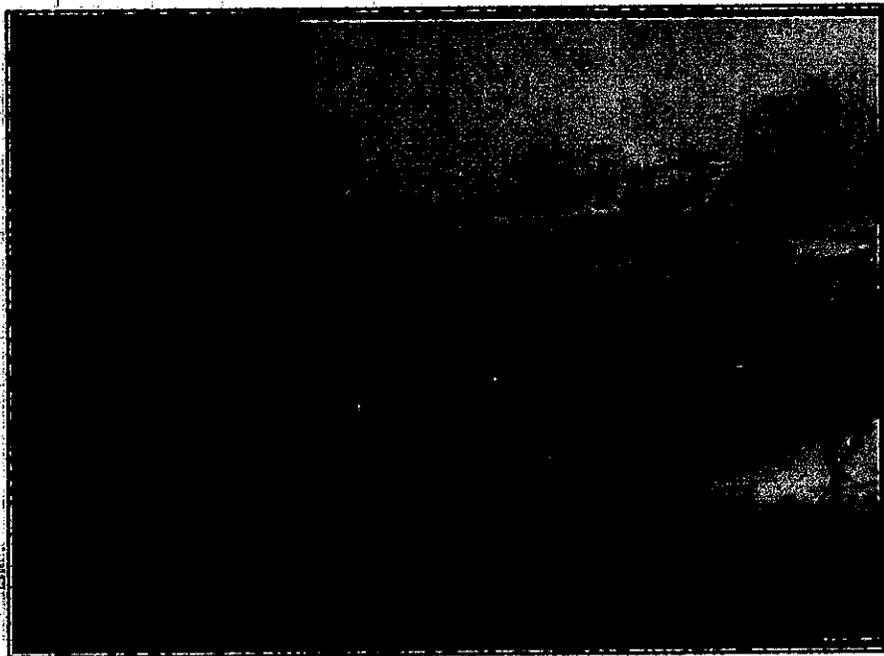


Foto 3. Sistema de sujeción de varillas.



SOLDADURAS

La soldadura fue diseñada para la carga máxima de tensión

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.707 \times w \times l \times (0.6 \times 0.7) = 27 \text{ ton}$$

Colocando soldadura a lo largo del miembro $l = 15 \text{ cm}$ $w = 1/4''$

Como el tamaño máximo de la pieza soldada es de 2", el tamaño mínimo de soldadura es de 5/16".

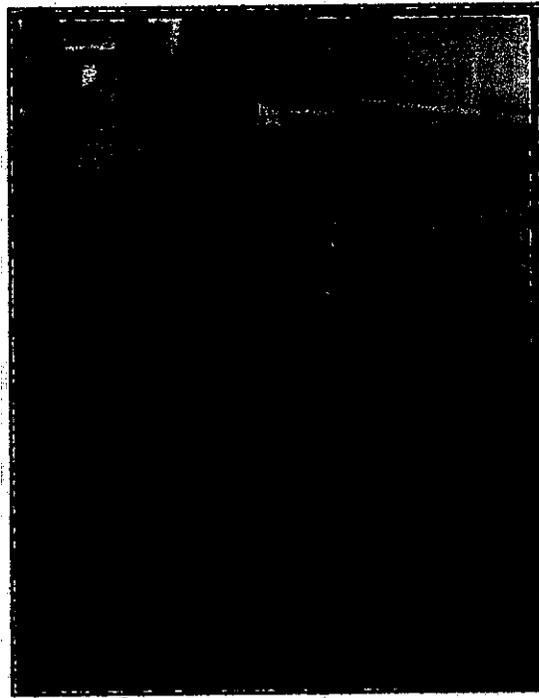


Foto 4. Sistema de sujeción de varillas soldado al perfil metálico.

3.3.2 MODELO DE LAS PRUEBAS DE EXTRACCION DE VARILLAS UTILIZANDO SIKADUR 42 ANCLAJE.

El modelo para la extracción de varillas se diseñó de forma que pudiera ser ensayado en la máquina universal (foto 5) cuya restricción principal es que sólo puede agarrar varilla en ambos extremos. Los parámetros tenidos en cuenta fueron los siguientes:

- La longitud de anclaje de las varillas es 10 veces su diámetro en concretos con resistencias mayores a 3000 PSI y 15 veces el diámetro para concretos con valores menores de resistencia.

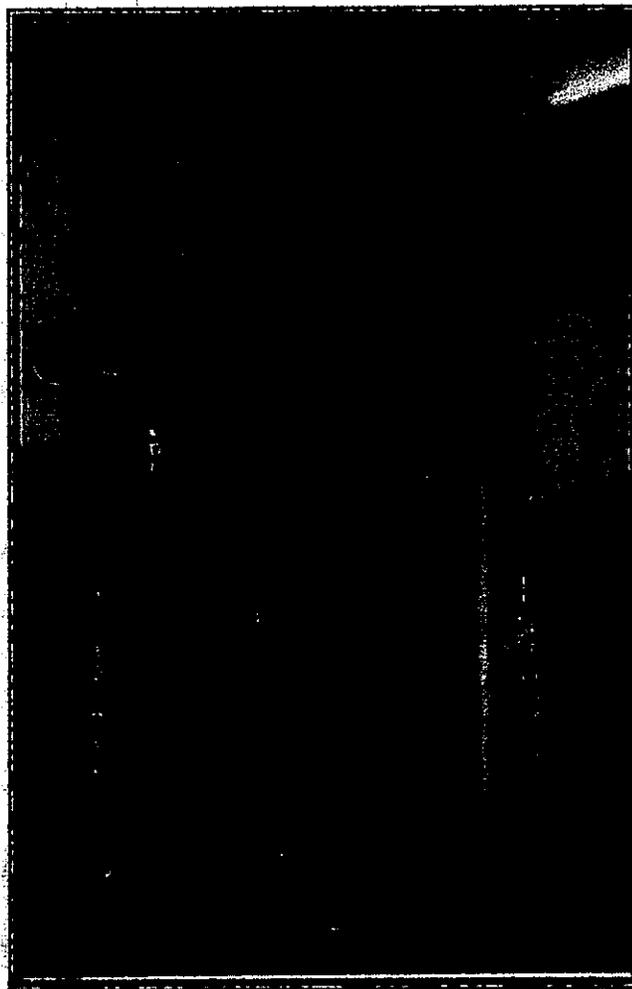


Foto 5. Máquina Universal. Universidad de Cartagena.

- Permitir el desarrollo del cono de falla que forma un ángulo aproximado de 45° (con base a investigaciones anteriores) a partir del extremo inferior de la varilla.
- El anclaje se realiza con varillas corrugadas de diámetros $1/2"$ y $5/8"$.
- Los concretos utilizados se hicieron con mezcladora en la obra de reparación del edificio el Laguito aprovechando la disponibilidad de este recurso.
- Los elementos indeformables se diseñan para el caso extremo de rotura en la varilla.

En el siguiente esquema se muestran los componentes del ensayo.

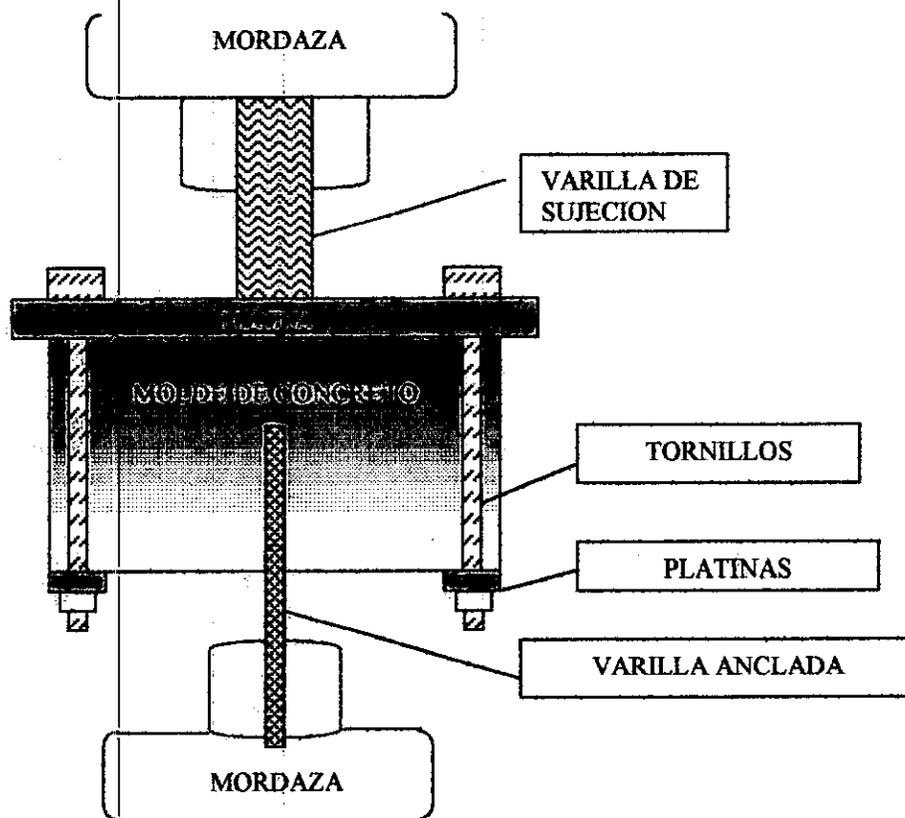


Fig 41 Descripción del modelo de ensayo para anclajes con sikadur42 - anclaje.

3.3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MOLDES DE CONCRETO.



Foto 6. Elaboración de moldes de concreto.

Las dimensiones de los moldes de este ensayo se determinaron a partir de la longitud de anclaje establecida y el desarrollo de conos de falla en concreto. Se unificaron las dimensiones de estas probetas para hacer un adecuado uso de las formaletas. En definitiva resultaron moldes de 20cm de peralte, 40cm de alto y 50cm de ancho.

3.3.2.2 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS.

La carga máxima esperada es la rotura en la varilla No 5 cuya área es: 2 cm^2 . El esfuerzo de rotura en el acero PDR 60 es 5600 Kg/ cm^2 .

$$P \text{ máx} = 2\text{cm}^2 * 5600 \text{ Kg/ cm}^2.$$

$$P \text{ máx} = 11200 \text{ Kg}$$

2. DISEÑO DE LA SOLDADURA PARA LA VARILLA DE SUJECION

Para una soldadura E70 colocada alrededor de toda la varilla $l = 11.97\text{cm}$

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.707 \times w \times l \times (0.6 \times 70)$$

$$11.2 \text{ ton}$$

$$\text{Despejando; } w = \frac{11.2 \text{ ton}}{0.75 \times 0.707 \times l \times 11.97 \times (0.6 \times 70)} = 0.04\text{cm} = 0.015" = 1/64"$$

3. DISEÑO DE LOS TORNILLOS

La carga en los tornillos es $11200/4 = 2800\text{kg}$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{P}{\pi \cdot \phi^2} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \phi^2}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\sigma = \frac{3565}{\phi^2}; \text{ para diámetros comerciales se tiene:}$$

$$\text{Para } \phi = 1/2", \quad \sigma = 2210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } \phi = 5/8", \quad \sigma = 1414 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } \phi = 3/4", \quad \sigma = 982.4 \text{ kg/cm}^2 < 1540 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\Delta = P L / A E = 0.01 \text{ cm (OK)}$$

4. DISEÑO DE LAMINAS INFERIORES

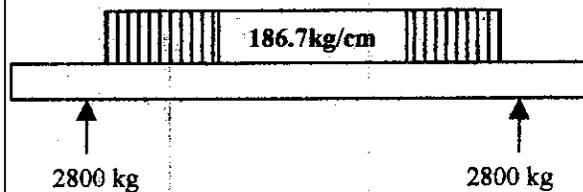


Fig. 43. Esquema de laminas inferiores

$$M_{\max} = 2800 (2 + 2800/2(186.7)) = 3942 \text{ kg cm}$$

$$S = I / C = 20 h^2 / 12$$

$$M_{\text{resist}} = S F_b = 1.67 h^2 (1540) = 3942$$

$h = 1.23 \text{ cm} = 0.49''$, se toma el espesor inmediatamente superior por seguridad $3/4''$.

3.4 EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Dentro del desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa de aquellas características de los materiales que influyen en el comportamiento de los anclajes. A continuación se detallan las pruebas de control de calidad realizadas a los materiales utilizados.

3.4.1 CONCRETOS

Básicamente se tuvo en cuenta la dosificación de la mezcla (agua, arena, y agregado), y la prueba de resistencia a la compresión según las normas ICONTEC 673 - 550.



Foto 7 Ensayo resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Laboratorio Concretos Premezclados y Txement

3.4.2 ACEROS

Los ensayos realizados a los aceros se limitaron a pruebas de tensión y deformación en la máquina Universal según la norma ICONTEC 2289, y ASTM-A-706

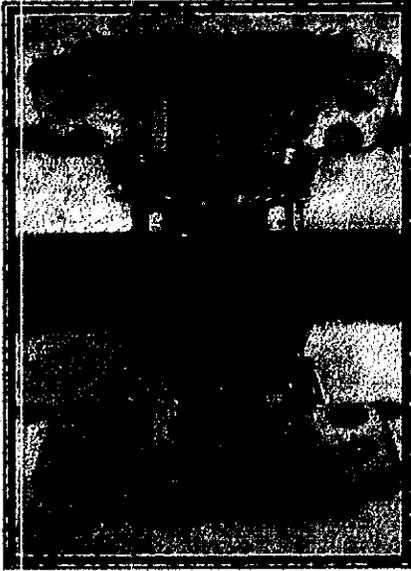


Foto 8. Ensayo de tensión de varillas. Maquina Universal. Laboratorio U de C.

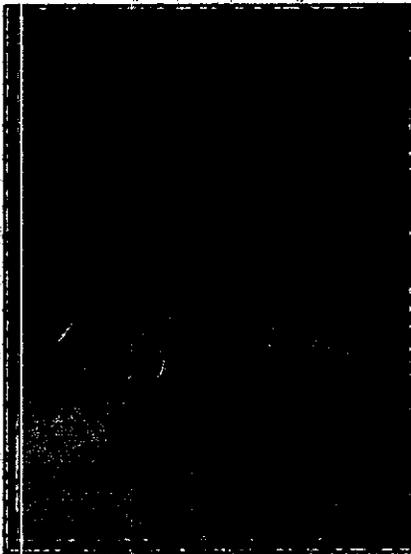


Foto 9. Momento de la rotura de la varilla. Laboratorio U de C.

3.4.3 MORTEROS EPOXICOS

Según especificaciones técnicas de la norma ICONTEC 220 se realizaron ensayos de compresión en cubos de 50mm.

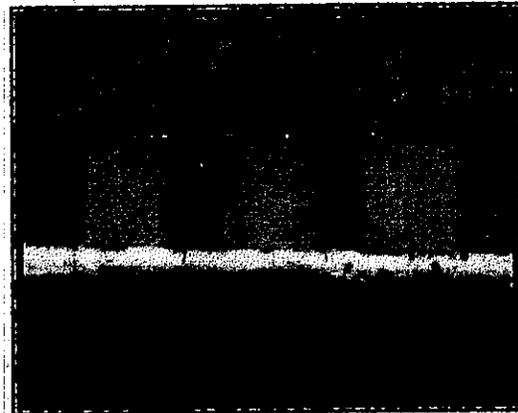


Foto 10. Cubos estandares de 50mm.

3.5 PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS

3.5.1 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO CON EL TOC 8004-1 ANCLAJE

Como se explicó anteriormente, los ensayos con este producto se hicieron tratando de asemejar el procedimiento constructivo que presenta en la realidad de una obra, seguidamente se describe paso a paso el procedimiento seguido:

1. ADECUACION DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO

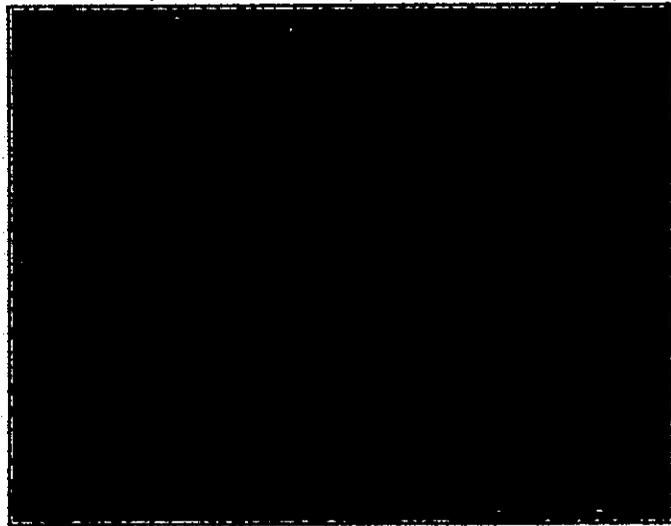


Foto 11. Plantilla de nivelación de superficie

2. ELABORACIÓN DE FORMALETAS

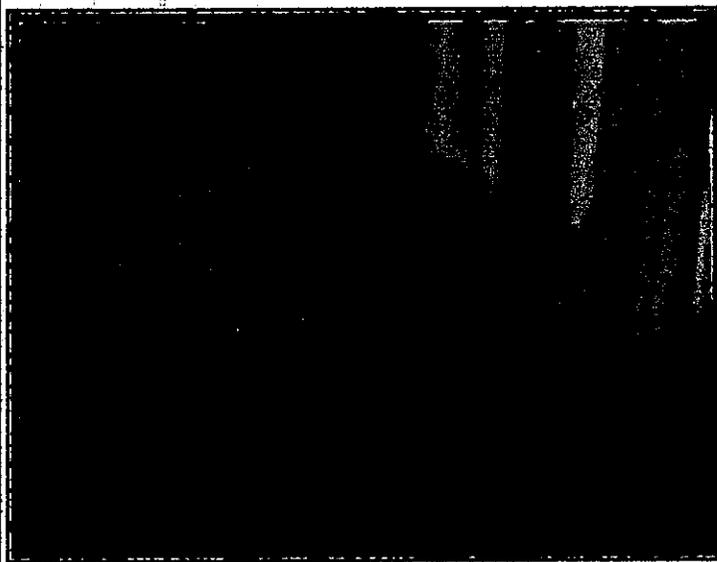


Foto 12. Armado de formaletas. Patios Concretos Premezclados y Toxemen.

3. ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO

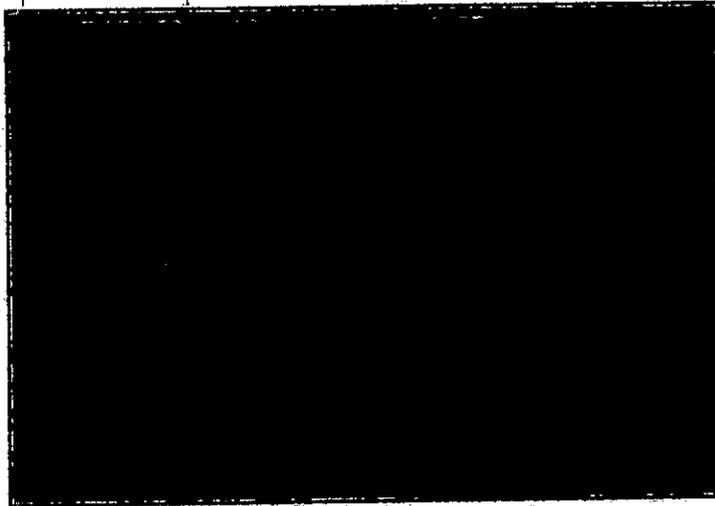


Foto 13. Armaduras de refuerzo para los moldes de concreto

3. FUNDIDA DE LOS MOLDES DE CONCRETO

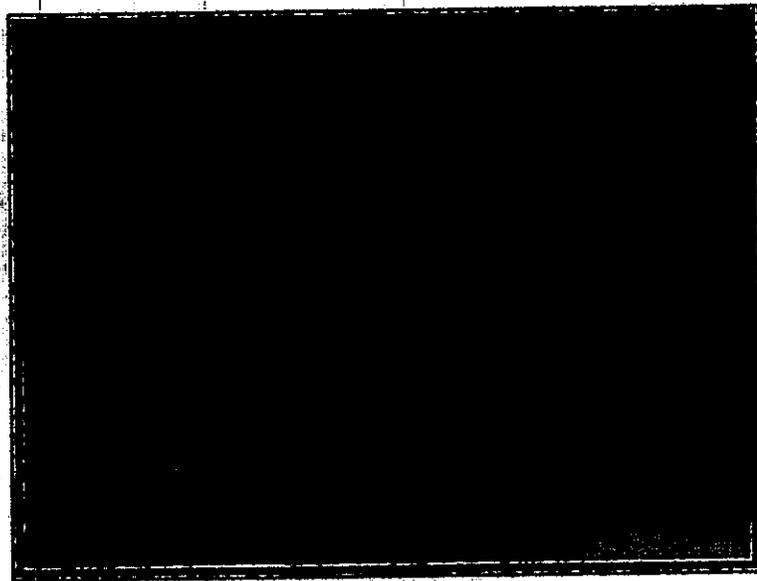


Foto 14. Vaciado de concreto en los moldes.

4. DESENCOFRADO DE LOS MOLDES

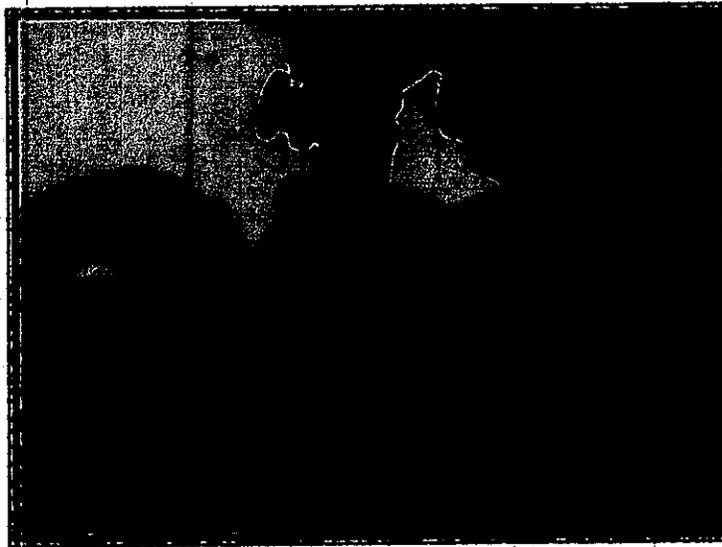


Foto 16. Realización de las perforaciones.

5. PERFORACIONES DE LOS MOLDES

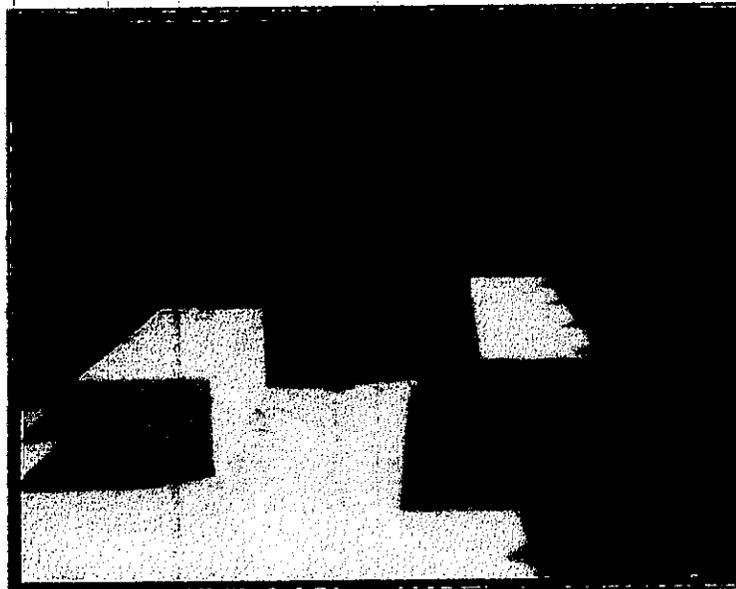


Foto 15. Vigas de concreto.

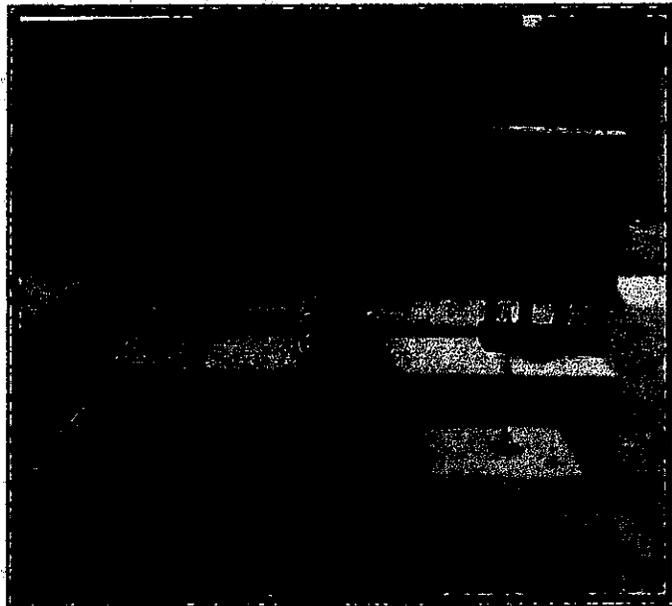
6. ANCLAJE DE LAS VARILLAS

Foto 17 Colocación del Toc 8004-1
anclaje



7. PRUEBAS DE EXTRACCION

Foto 18 Extracción de las
varillas.



3.5.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO CON EL SIKADUR 42 ANCLAJE

Este modelo se diseño para escalas menores en los diámetros de las varillas, y consecuentemente en los moldes de concreto. A continuación se describe la secuencia fotográfica del procedimiento:

1. FORMALETA DE LOS MOLDES



Foto 19. Montaje de la formaleta

2. FUNDIDA DE LOS MOLDES EN CONCRETO



Foto 20. Vaciado del concreto (hecho con mezcladora).

4. PERFORACION DE LOS BLOQUES



Foto 21. Perforación de los bloques

4. ANCLAJE DE VARILLAS



Foto 22 Aplicación con el sikadur 42 anclaje.

5. ENSAYO DE EXTRACCIÓN DE VARILLAS



Foto 23 Aplicación de carga para la extracción

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se detallan los resultados obtenidos en las pruebas de control de calidad realizadas sobre los materiales. También se muestra los resultados de los ensayos de extracción preacticados a los anclajes.

4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS

Las tablas No 2 y No 3 muestran el resumen de las resistencia a la compresión de los cilindros tomados en el desarrollo del proyecto.

Cilindro No	Sifio de Toma	Fecha De toma	Edad de Ensayo	Carga Rotura(lbs)	F'c (kg/cm ²)	Promedios
1	Premezclados	09/12/98	7	92890	228	229
1	Premezclados	09/12/98	7	92880	230	
2	Premezclados	09/12/98	28	112770	304	312
2	Premezclados	09/12/98	28	128830	319	
3	Premezclados	25/01/99	7	52500	130	132
3	Premezclados	25/01/99	7	54120	134	
4	Premezclados	25/01/99	28	79970	198	208
4	Premezclados	25/01/99	28	84810	210	

Tabla No 2. Resistencia a la compresión de cilindros

Cilindro No	Sitio de Toma	Fecha De toma	Edad de Ensayo	Carga Rotura(lbs)	F'c (kg/cm ²)	Promedios
5	Premezclados	03/02/99	7	48870	121	125
5	Premezclados	03/02/99	7	52500	130	
6	Premezclados	03/02/99	28	71080	176	175
6	Premezclados	03/02/99	28	70280	174	
7	E. Laguito	25/02/99	7	65800	162	163
7	E. Laguito	25/02/99	7	66300	164	
8	E. Laguito	25/02/99	28	114400	283	285
8	E. Laguito	25/02/99	28	115200	287	
9	E. Laguito	25/02/99	7	46900	115	116
9	E. Laguito	25/02/99	7	47200	117	
10	E. Laguito	25/02/99	28	66800	165	166
10	E. Laguito	25/02/99	28	67300	167	
11	E. Laguito	26/02/99	7	80000	198	198
11	E. Laguito	26/02/99	7	80000	198	
12	E. Laguito	26/02/99	28	111500	276	277
12	E. Laguito	26/02/99	28	112600	279	
13	E. Laguito	26/02/99	7	91000	225	220
13	E. Laguito	26/02/99	7	87500	216	

Tabla No 2. Resistencia a la compresión de cilindros (continuación).

Cilindro No	Sitio de Toma	Fecha De toma	Edad de Ensayo	Carga Rotura(lbs)	F' _c (kg/cm ²)	Promedios
14	E. Laguito	26/02/99	28	95000	235	233
14	E. Laguito	26/02/99	28	93800	232	
15	E. Laguito	27/02/99	7	77500	192	198
15	E. Laguito	27/02/99	7	82700	205	
16	E. Laguito	27/02/99	28	113200	280	282
16	E. Laguito	27/02/99	28	115200	285	
17	E. Laguito	27/02/99	7	88040	218	221
17	E. Laguito	27/02/99	7	90460	224	
18	E. Laguito	27/02/99	28	117120	290	297
18	E. Laguito	27/02/99	28	122370	303	

Tabla No 3. Resistencia a la compresión de cilindros

La toma de cilindros se hizo de la siguiente manera:

- En CONCRETOS PREMEZCLADOS se tomaron 4 cilindros por cada fundida, para ensayar 2 cilindros a los 7 días y 2 a los 28 días
- En el edificio el Laguito se tomaron cuatro cilindros por cada bachada en la mezcladora.



4.1.2 ENSAYO DE TENSION EN LAS VARILLAS.

Las varillas fueron ensayadas a tensión en la universidad de Cartagena.

Se tomaron muestras aleatorias de las varillas utilizadas obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4

ENSAYO DE TENSION DE VARILLAS								
BARRA	DIÁM NOM	AREA CMS2	LONG INICIAL	LONG FINAL	FLUENCIA		ROTURA	
					CARGA	ESF	CARGA	ESF
1	3/4"	2,84	50CM	53,5	13600	4789	20600	7254
1	3/4"	2,84	50CM	55	13600	4789	20800	7324
1	3/4"	2,84	50CM	55,5	13800	4859	20800	7324
PROM.	3/4"	2,84	50CM	54,67	13667	4812	20733	7300
2	1"	5,10	50CM	57,1	23000	4510	31200	6118
2	1"	5,10	50CM	55,8	23000	4510	31200	6118
2	1"	5,10	50CM	56,3	23000	4510	31000	6078
PROM.	1"	5,10	50CM	56,4	23000	4510	31133	6105
3	1/2"	1,29	50CM	54,5	5200	4031	7000	5426
3	1/2"	1,29	50CM	54,5	5100	3953	6800	5271
3	1/2"	1,29	50CM	54,5	5100	3953	6900	5349
PROM.	1/2"	1,29	50CM	54,5	5133	3979	6900	5349
4	1/2"	1,29	50CM	54,5	5600	4341	6800	5271
4	1/2"	1,29	50CM	54,5	5500	4264	6800	5271
PROM.	1/2"	1,29	50CM	54,5	5550	4302	6800	5271
5	5/8"	2,00	50CM	54	9000	4500	13200	6600
5	5/8"	2,00	50CM	54	9000	4500	13200	6600
PROM.	5/8"	2,00	50CM	54	9000	4500	13200	6600

Tabla 4 Datos de ensayo de tensión de varillas.

4.1.3 ENSAYO DE COMPRESION PARA MORTEROS EPOXICOS.

Los morteros epóxicos se ensayaron a la compresión con cubos de 50.8mm de lado. Las resistencias obtenidas se muestran en la tabla 5.

MORTERO EPOXICO	DOSIFICACION			FECHA DE TOMA	EDAD DE ENSAYO	RESIST. A LA COMPRESION
	A*	B*	C*			
TOC8004-1	2	1	1	31/03/99	7	575
TOC8004-1	2	1	2	31/03/99	7	443
TOC8004-1	2	1	3	31/03/99	7	478
TOC8004-1	2	1	1	31/03/99	14	568
TOC8004-1	2	1	2	31/03/99	14	419
TOC8004-1	2	1	3	31/03/99	14	584
SIKADUR 42	2	1	1	26/03/99	7	578
SIKADUR 42	2	1	2	26/03/99	7	441
SIKADUR 42	2	1	3	26/03/99	7	476
SIKADUR 42	2	1	1	26/03/99	14	562
SIKADUR 42	2	1	2	26/03/99	14	440
SIKADUR 42	2	1	3	26/03/99	14	579

Tabla 5. Resistencia a la compresión de los morteros epóxicos.

* A: Resina, B: Endurecedor, C: Llenante.

4.1.4 ENSAYOS DE EXTRACCIÓN DE VARILLAS

4.1.4.1 UTILIZANDO TOC 8004 - 1 ANCLAJE

Los ensayos de campo realizados con este producto arrojaron los resultados que se muestran en la tabla 6:

Molde No	Diámetro de la varilla	Diámetro de perforación	Longitud de anclaje (cm)	Resistencia del concreto	Carga de falla (Ton)	Carga de rotura en el anclaje (Ton)
1 a	1"	1 1/4"	25	312 Kg/cm ²	14	7
1 b	3/4"	1"	18	312 Kg/cm ²	20	10
1 c	1/2"	3/4"	16	312 Kg/cm ²	8.5	4.25
2 a	1"	1 1/4"	30	210 Kg/cm ²	25	12.5
2 b	3/4"	1"	18	210 Kg/cm ²	21	10.5
2 c	1/2"	3/4"	17	210 Kg/cm ²	8.5	4.25
3 a	1"	1 1/4"	29	175 Kg/cm ²	25	12.5
3 b	3/4"	1"	18	175 Kg/cm ²	19.5	9.75
3 c	1/2"	3/4"	14	175 Kg/cm ²	9	4.5

Tabla 6. Resumen de resultados de pruebas de extracción con el Toc 8004-1 anclaje.

4.1.4.2 UTILIZANDO SIKADUR 42 ANCLAJE

Molde No	Diámetro de la varilla	Diámetro de perforación	Longitud de anclaje (cm)	Resistencia del concreto (Kg/cm ²)	Carga de falla (Kg)	Carga de rotura en el anclaje (Kg)
1	1/2"	3/4"	12	166	2400	2470
	1/2"	3/4"	12.5	166	2900	
	1/2"	3/4"	12	166	3000	
2	1/2"	3/4"	13	277	2800	2770
	1/2"	3/4"	12.5	277	2600	
	1/2"	3/4"	12.5	277	2000	
3	1/2"	3/4"	12.5	290	3200	3900
	1/2"	3/4"	12.5	290	4200	
	1/2"	3/4"	13	290	4300	
4	3/4"	7/8"	15.7	233	5000	4170
	3/4"	7/8"	16	233	4000	
	3/4"	7/8"	15	233	3500	
5	3/4"	7/8"	15	282	5000	5170
	3/4"	7/8"	15.5	282	5000	
	3/4"	7/8"	15	282	5500	
6	3/4"	7/8"	17	285	5800	5300
	3/4"	7/8"	16	285	4800	
	3/4"	7/8"	15.5	285	5300	

Tabla 7. Resumen de resultados de pruebas de extracción con el Sikadur 42 anclaje

4.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DE VARILLAS.

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas se hizo en forma gráfica, ya que de ésta manera se comprende mejor el comportamiento de las variables que intervienen en la resistencia del anclaje. Las fotos 24 y 25 muestra el cono de falla típico de las pruebas de extracción

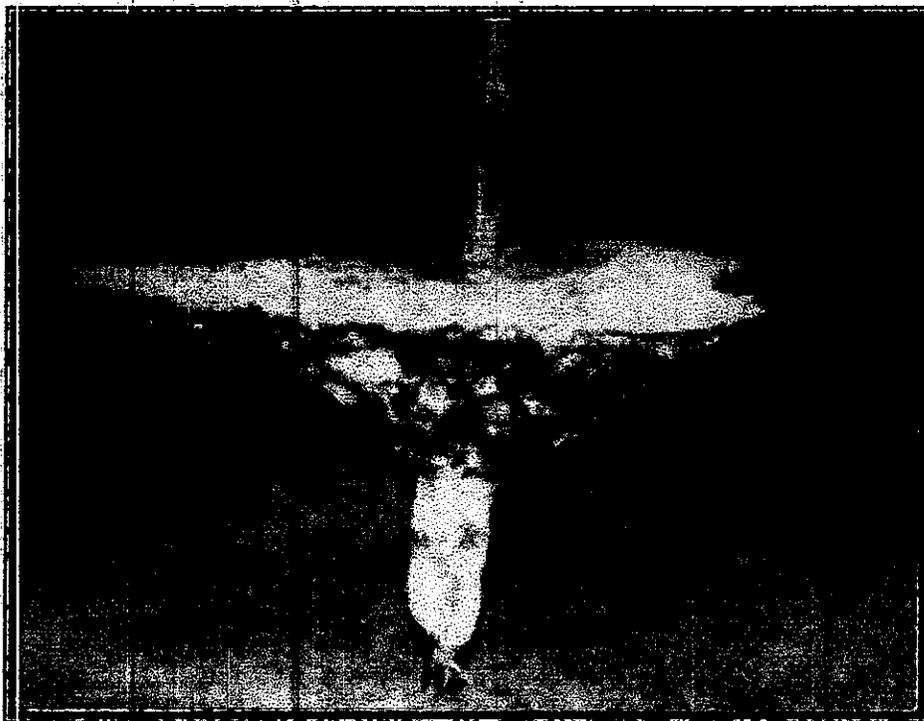


Foto 24. Cono de falla típico de las pruebas de extracción

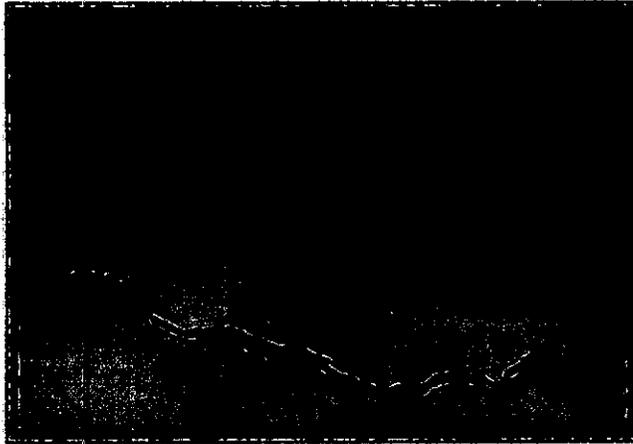


Foto 25 Agrietamiento en el concreto durante la prueba.

En la tabla 8 y 9 se muestra la variación que sufre la resistencia a tensión del ancla de cuña y manga respectivamente, en los diámetros especificados, para diferentes resistencias de concreto. Para una mejor comprensión, estos análisis se representa en los gráficos 1 y 2.

DIÁMETRO (mm)	ANCLAJE DE CUÑA. TENSION (kg)		
	F'c=3000 psi	F'c=4000 psi	F'c=5000 psi
6.35	1296	1384	1406
9.53	2400	2693	2808
12.7	3164	4048	5336
15.88	4963	5649	6816
19.05	6384	9055	10500
22.27	6957	9323	11506
25.4	14867	17155	18375

Tabla 8. Resistencia a tensión del anclaje de cuña.

DIÁMETRO (mm)	ANCLAJE DE MANGA. TENSION (kg)	
	F'c=2130 psi	F'c=4090 psi
6.35	611	732
9.53	490	1102
12.7	858	1178
15.88	958	2443
19.05	1537	2589
22.27	1830	2935

Tabla 9. Resistencia a la tensión del anclaje de manga.

Los valores consignados en la tabla 10, representados en el gráfico 3 muestran en resumen el comportamiento general del Anclaje Mecánico como tal.

RESITENCIA A LA TENSION. ANCLAJE MECÁNICO				
F'c	DIÁMETROS			
	12.7 mm	15.88 mm	19.05 mm	25.4 mm
210	3164 kg	4963 kg	8384 kg	14867 kg
280	4084 kg	5649 kg	9051 kg	17155 kg
350	5336 kg	6816 kg	10500 kg	18375 kg

Tabla 10. Resumen de resistencia a la tensión de los anclajes mecánicos.

Resistencia a tensión del ancla de cuña vs Diámetro

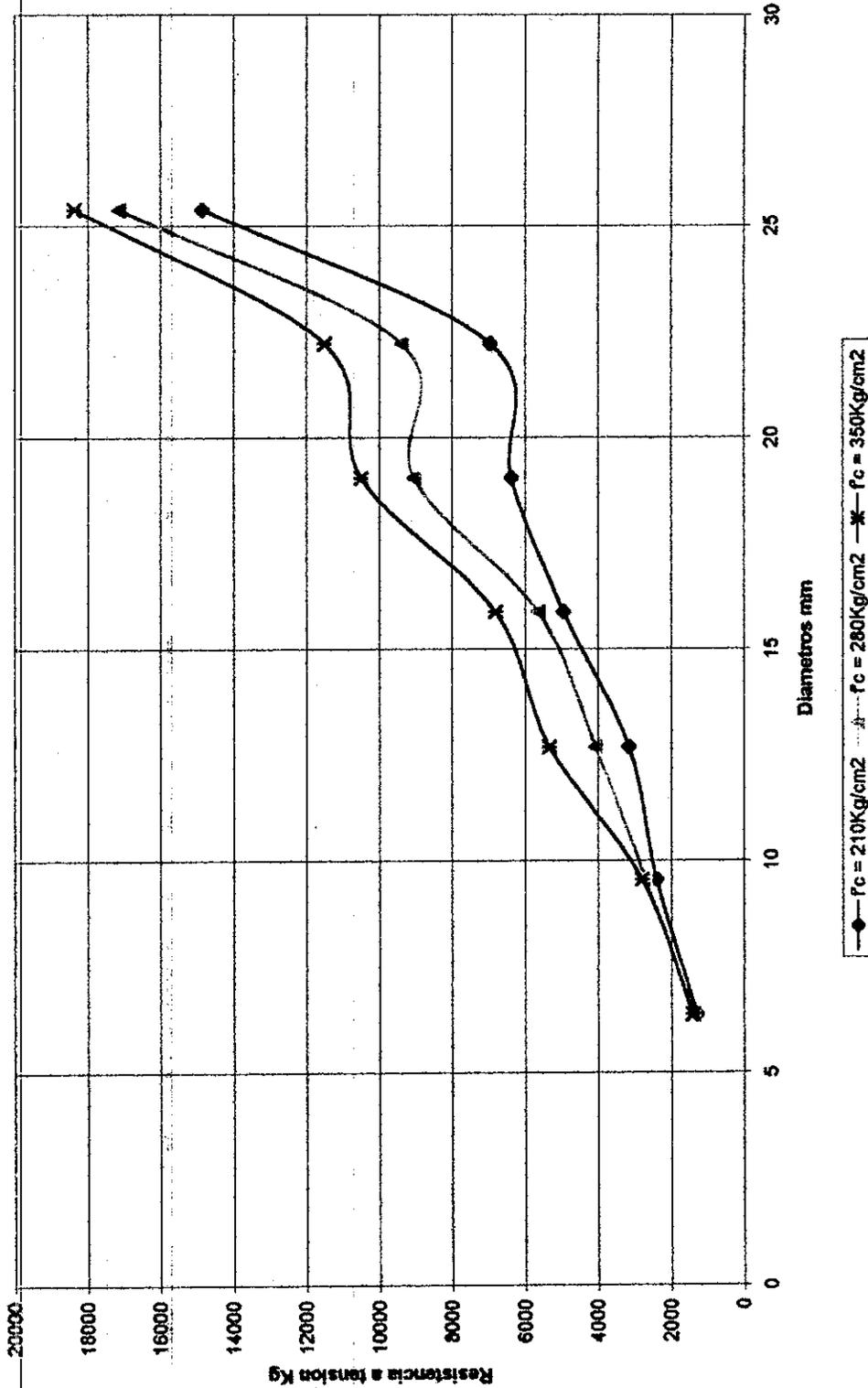
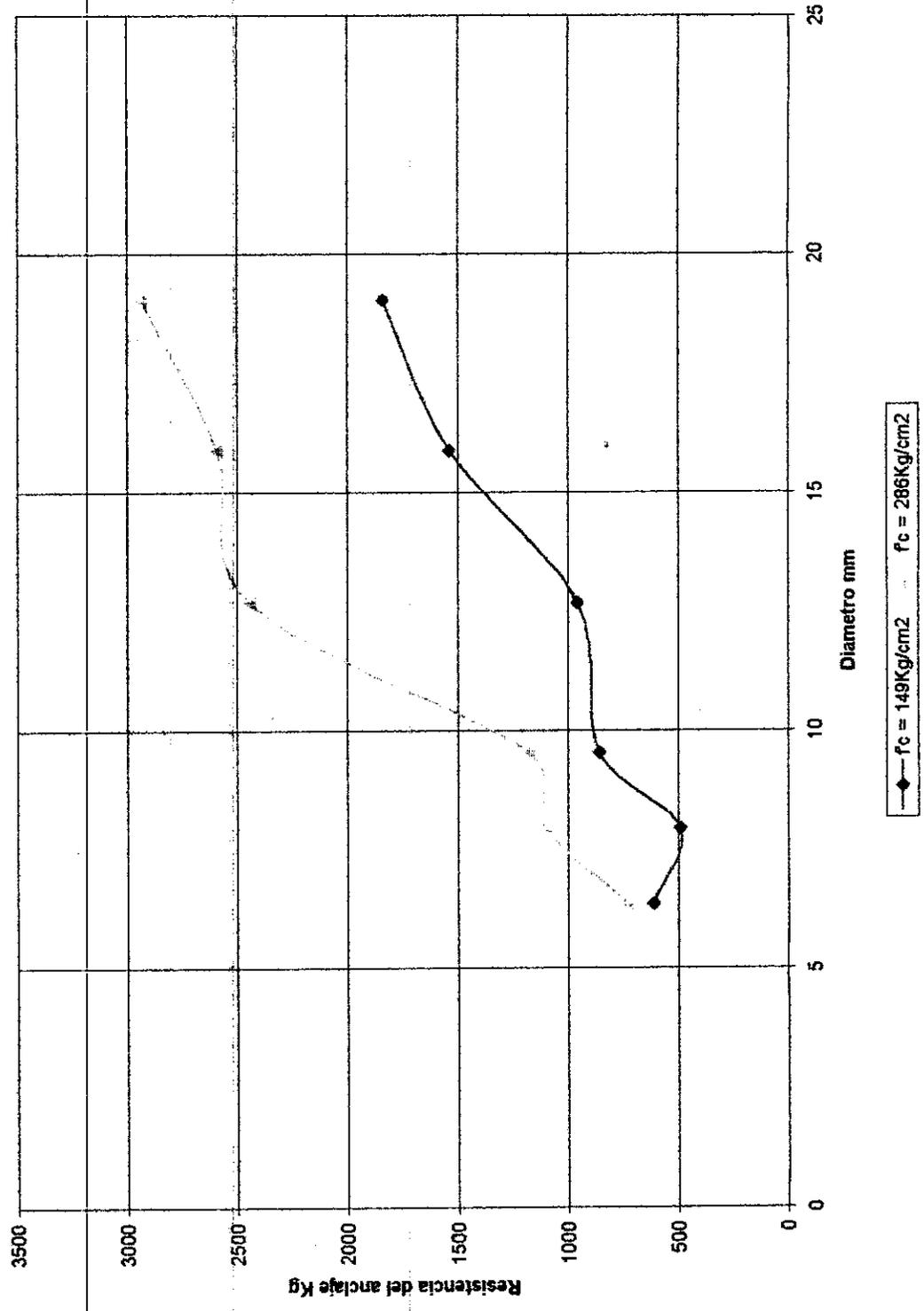


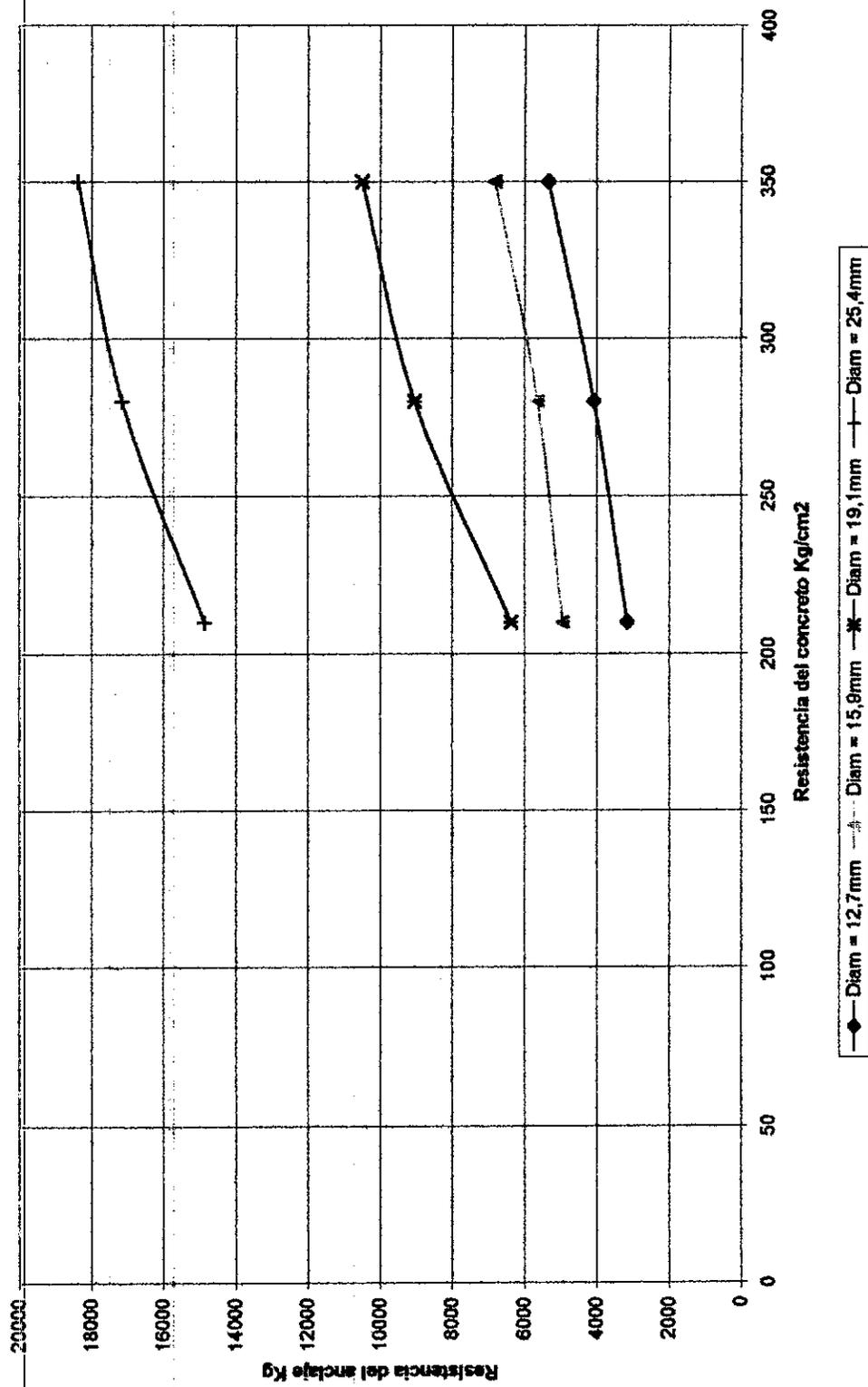
GRAFICO 1



Resistencia ancla de manga vs diametro del anclaje



Resistencia del anclaje mecánico vs Resistencia del concreto



Resistencia del anclaje mecánico vs Resistencia del concreto

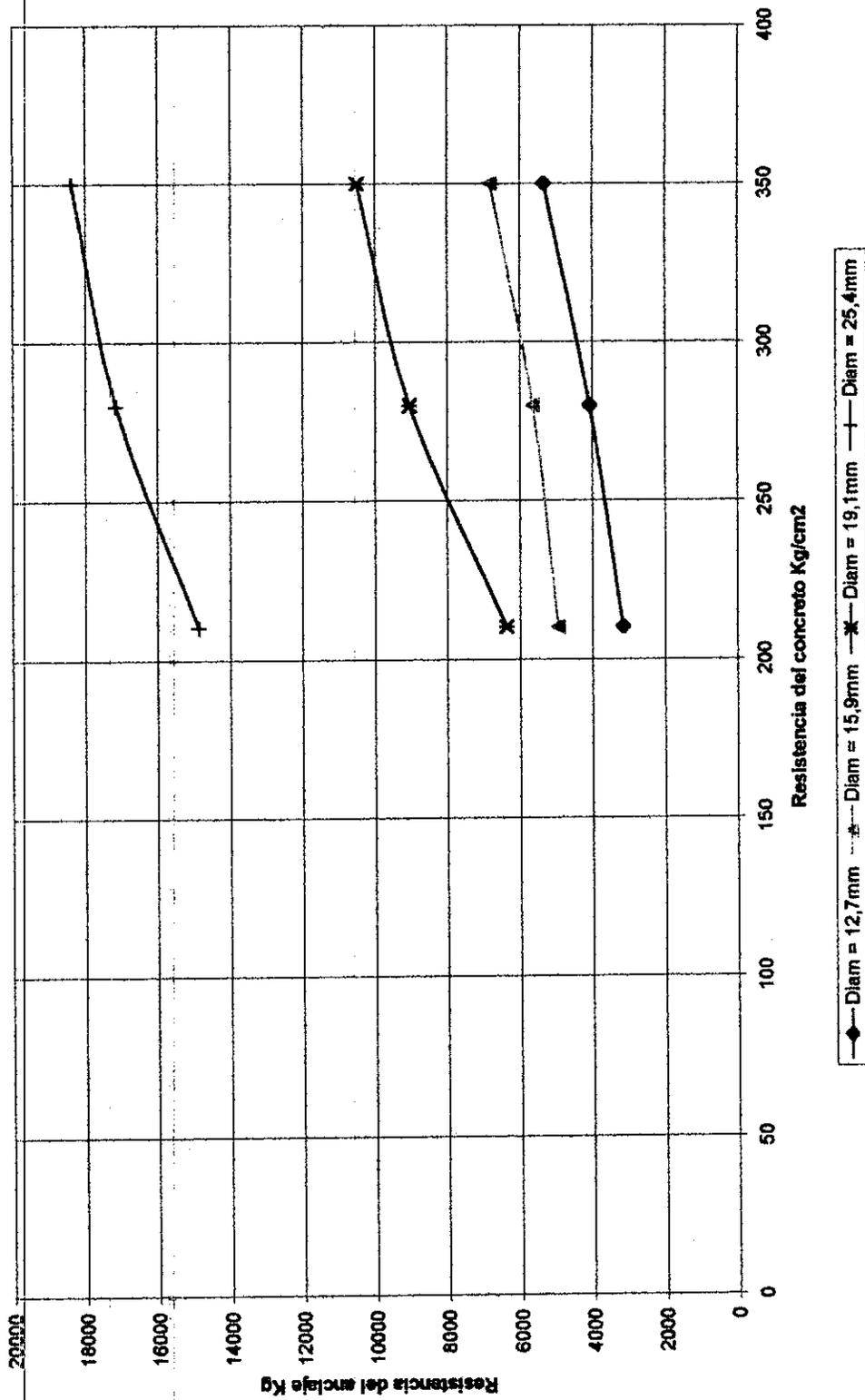


GRAFICO 3

En las tablas 11 y 12 se registran los valores de resistencia de los anclajes con mortero epóxico, Sikadur 42 anclaje y Toc 8004-1 anclaje, respectivamente. Los gráficos correspondientes son 4 y 5.

DIÁMETROS	SIKADUR 42 ANCLAJE. PRUEBAS DE EXTRACCIÓN		
	F'c=2500	F'c=3000	F'c=4450
12.7 mm	2470 kg	2770 kg	3900 kg
15.88 mm	4170 kg	5170 kg	5300 kg

Tabla 11. Resistencia a la prueba de extracción. Sikadur 42 anclaje.

DIÁMETRO	TOC 8004-1 ANCLAJE. PRUEBA DE EXTRACCIÓN		
	F'c=2500	F'c=3000	F'c=4450
12.7 mm	4250 kg	4250 kg	4500 kg
19.1 mm	2500 kg	3000 kg	4450 kg
25.4 mm	12500 kg	12500 kg	13000 kg

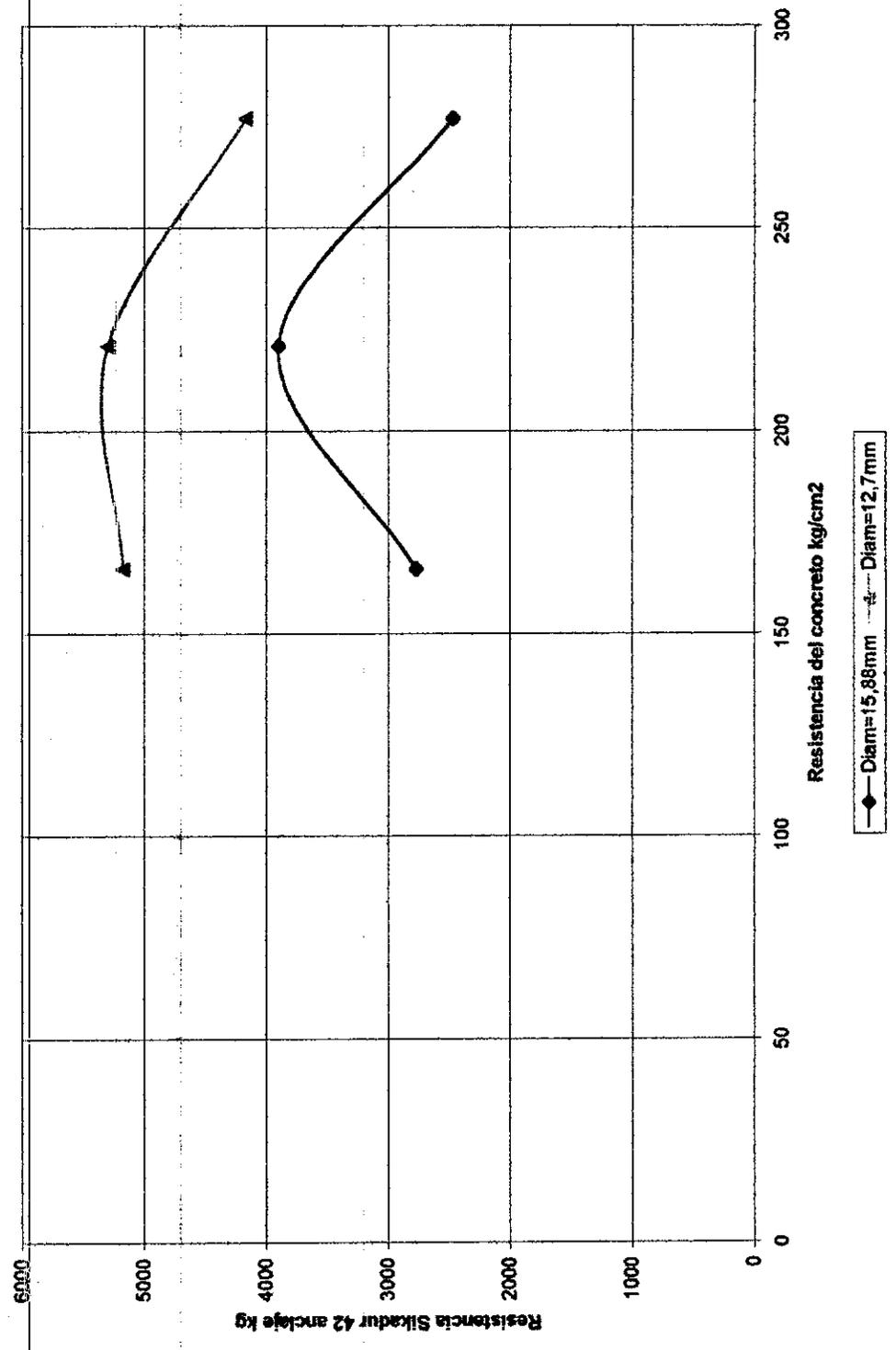
Tabla 12. Resistencia a la prueba de extracción. Toc 8004-1 anclaje.

Por último la tabla 13 registra el resumen general de los datos del anclaje con mortero epóxico. El esquema se representa en el gráfico 6.

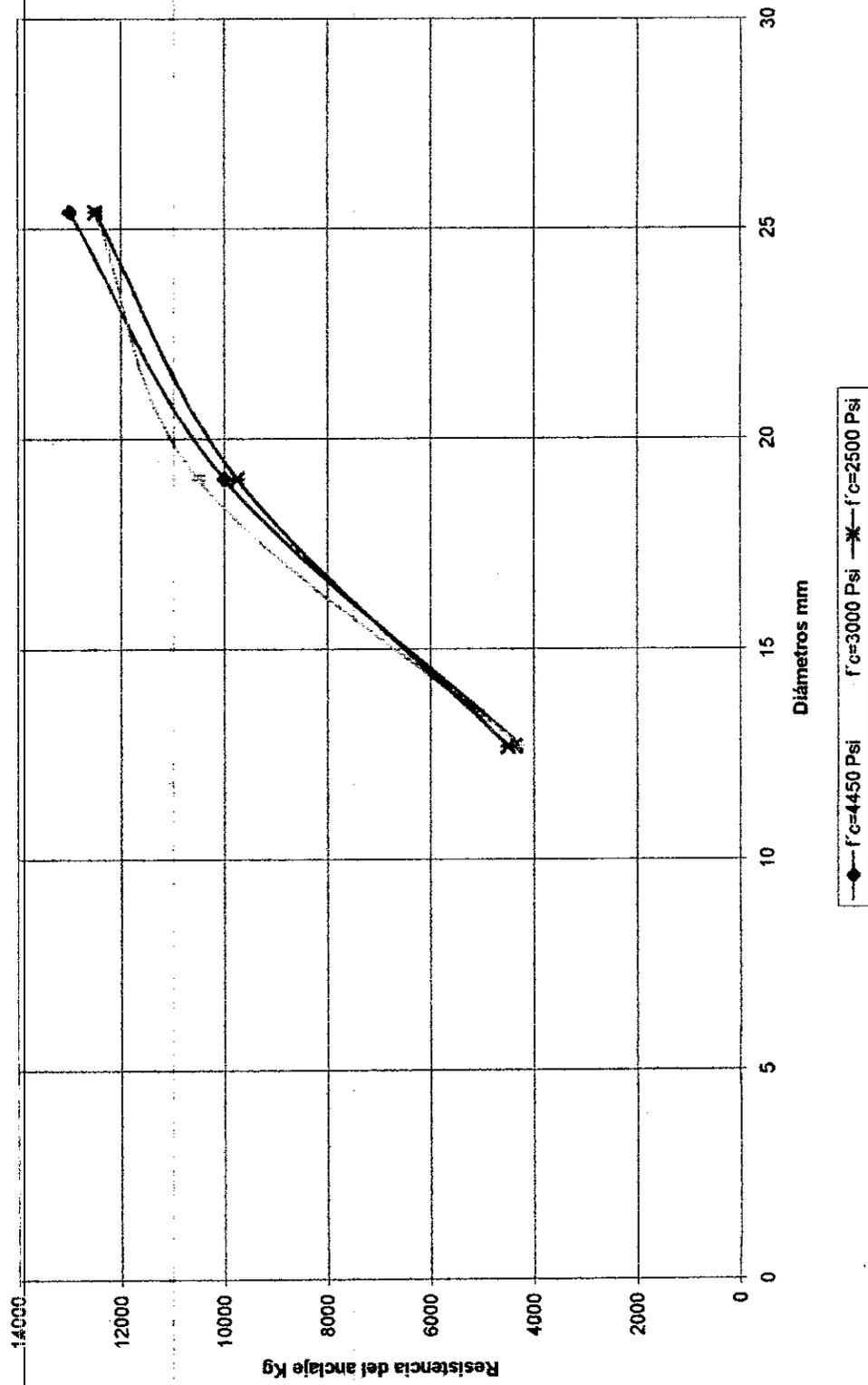
RESITENCIA A LA TENSION. ANCLAJE CON MORTERO EPÓXICO				
F'c	DIÁMETROS			
	12.7 mm	15.88 mm	19.05 mm	25.4 mm
175	3360 kg	4170 kg	9750 kg	12500 kg
210	3375kg	5170 kg	10000 kg	12500 kg
312	4075 kg	5300 kg	10500 kg	13000 kg

Tabla 13. Resumen de la resistencia a la tensión. Anclaje con mortero epóxico.

Resistencia del concreto vs Resistencia del Sikadur 42 anclaje



Resistencia Toc 8004-1 vs diámetro de la varilla



Resistencia del anclaje con mortero epoxico vs Resistencia del concreto

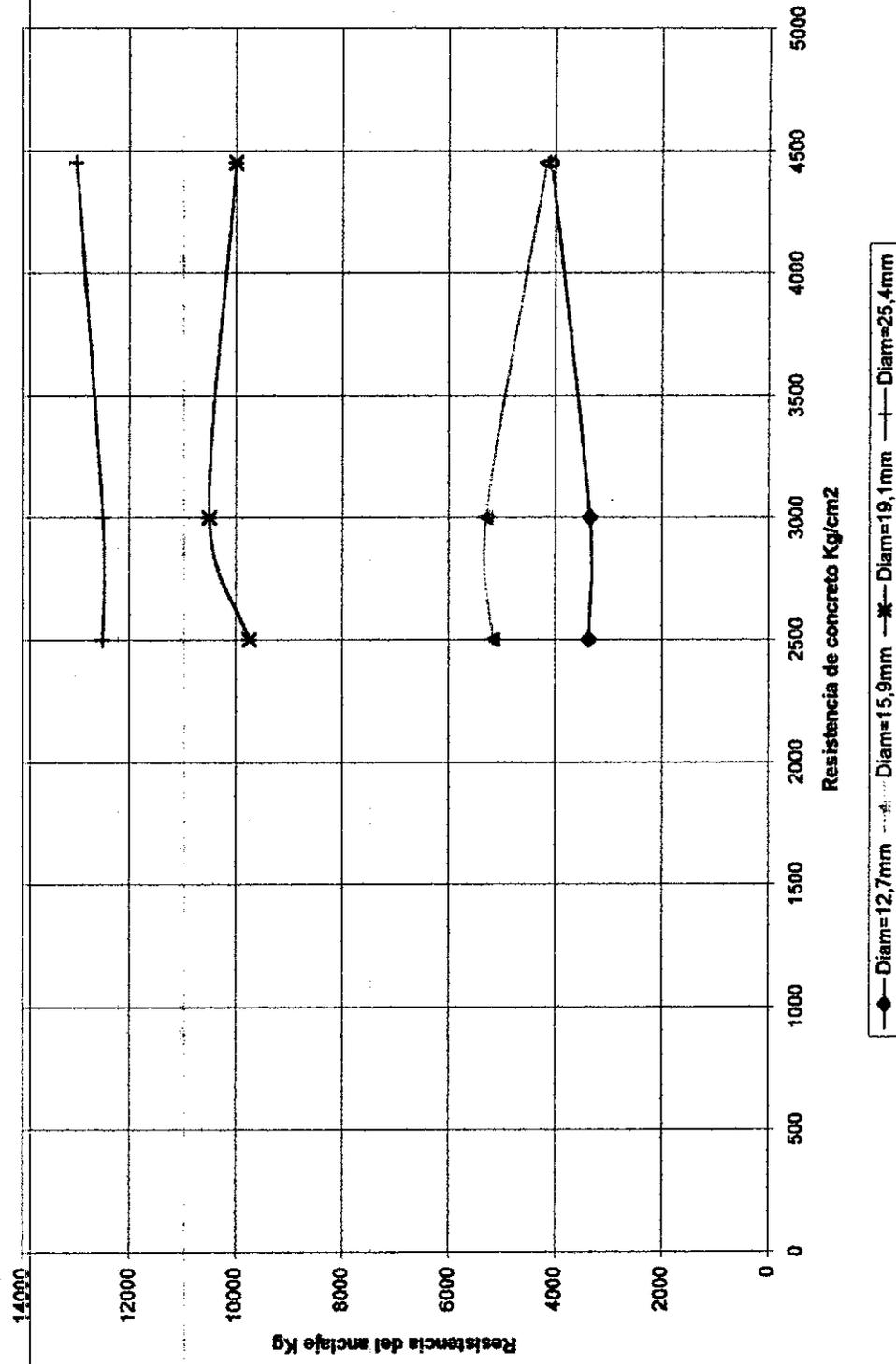


GRAFICO 6

En la tabla 14 se muestra en resumen los datos que comparan las resistencias para los dos sistemas de anclaje. En los gráficos del 7 al 15 se encuentran representados estos resultados:

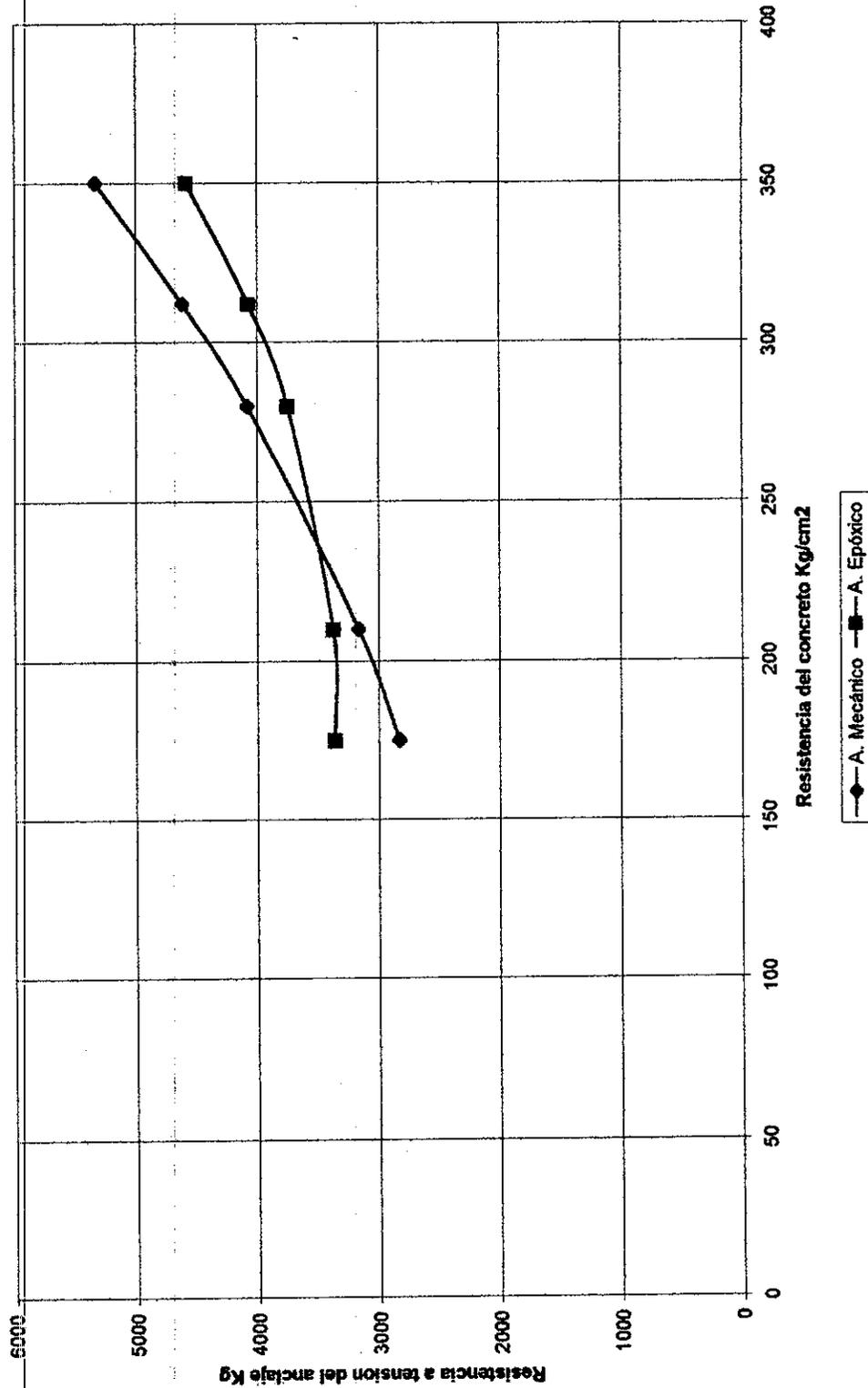
RESISTENCIA CONCRETO kg/cm ²	CARGAS EN EL ANCLAJE PARA DIÁMETROS							
	12.7 mm		15.88 mm		19.1 mm		24.5 mm	
	M (kg)	E (kg)	M (kg)	E (kg)	M (kg)	E (kg)	M (kg)	E (kg)
175	2829	3360	4800	4170	8343	9750	13322	12500
210	3164	3375	4963	5170	8384	10000	14867	14000
280	4084	3750	5649	5260	9051	10380	10755	14700
312	4615	4075	6122	5300	9616	10500	17845	15000
350	5336	4586	6816	6052	10500	10600	18375	16174

Tabla 14. Resumen de datos de las cargas que resisten los sistemas de anclaje, para los diámetros y las resistencias del concreto especificadas.

M: Sistema de anclaje mecánico

E: Sistema de anclaje epóxico

Comparación de los sistemas de anclaje para diámetro=12.7mm



196

Comparación de los sistemas de anclajes para diámetro=15.88mm

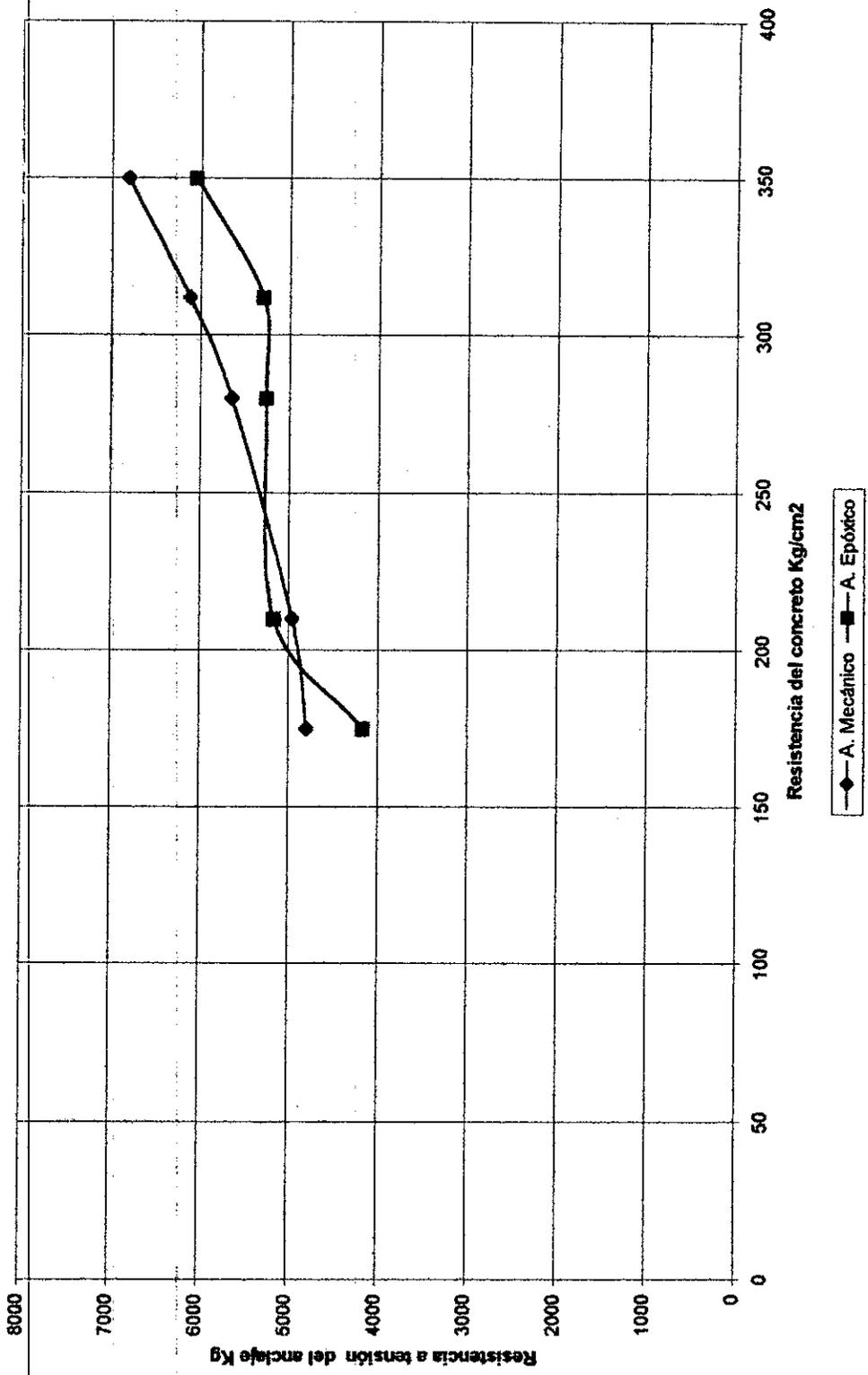
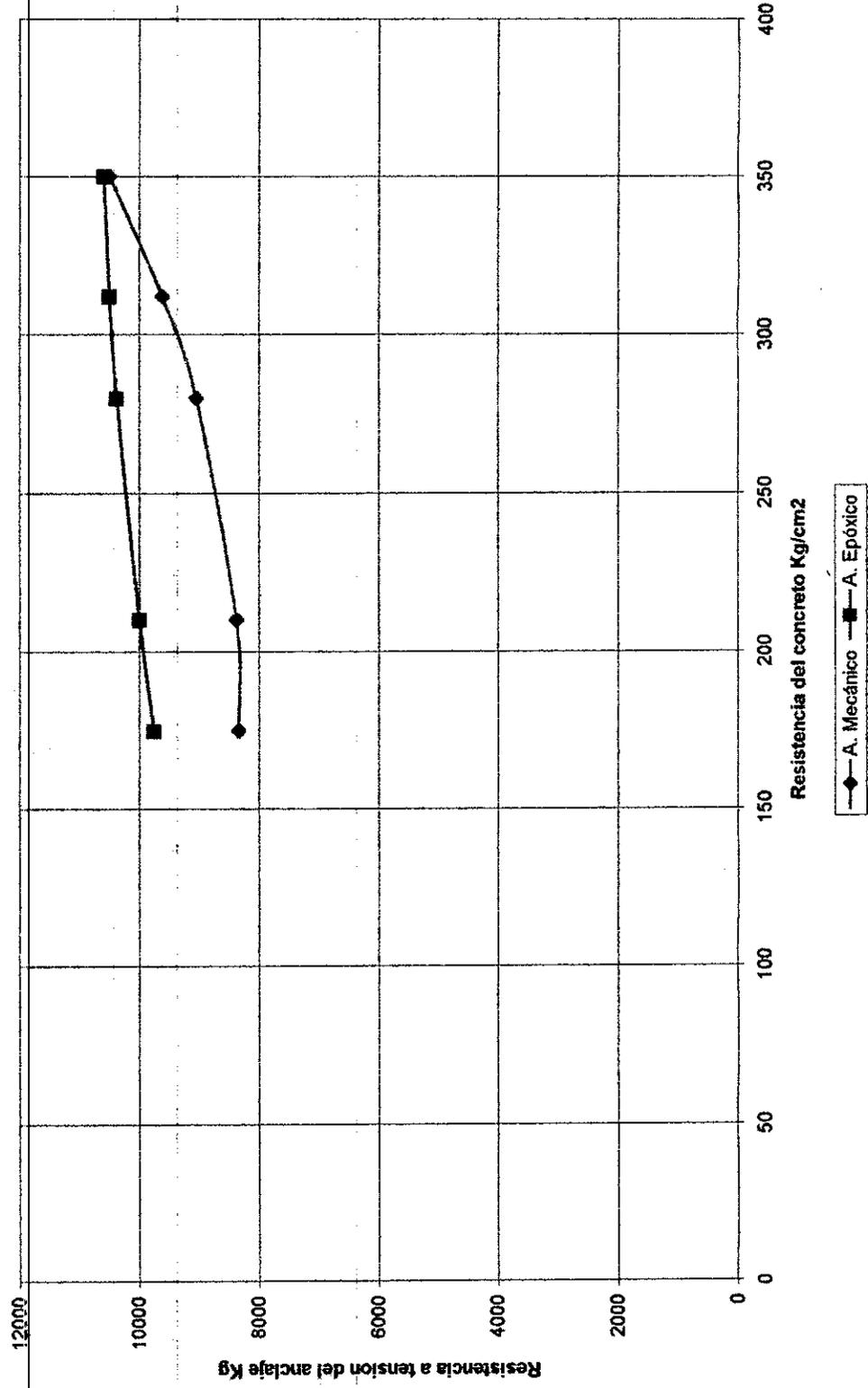


Gráfico 8

Comparación de los sistemas de anclaje para diametro = 19.10mm



Comparación de los sistemas de anclajes para el diámetro=25.4mm

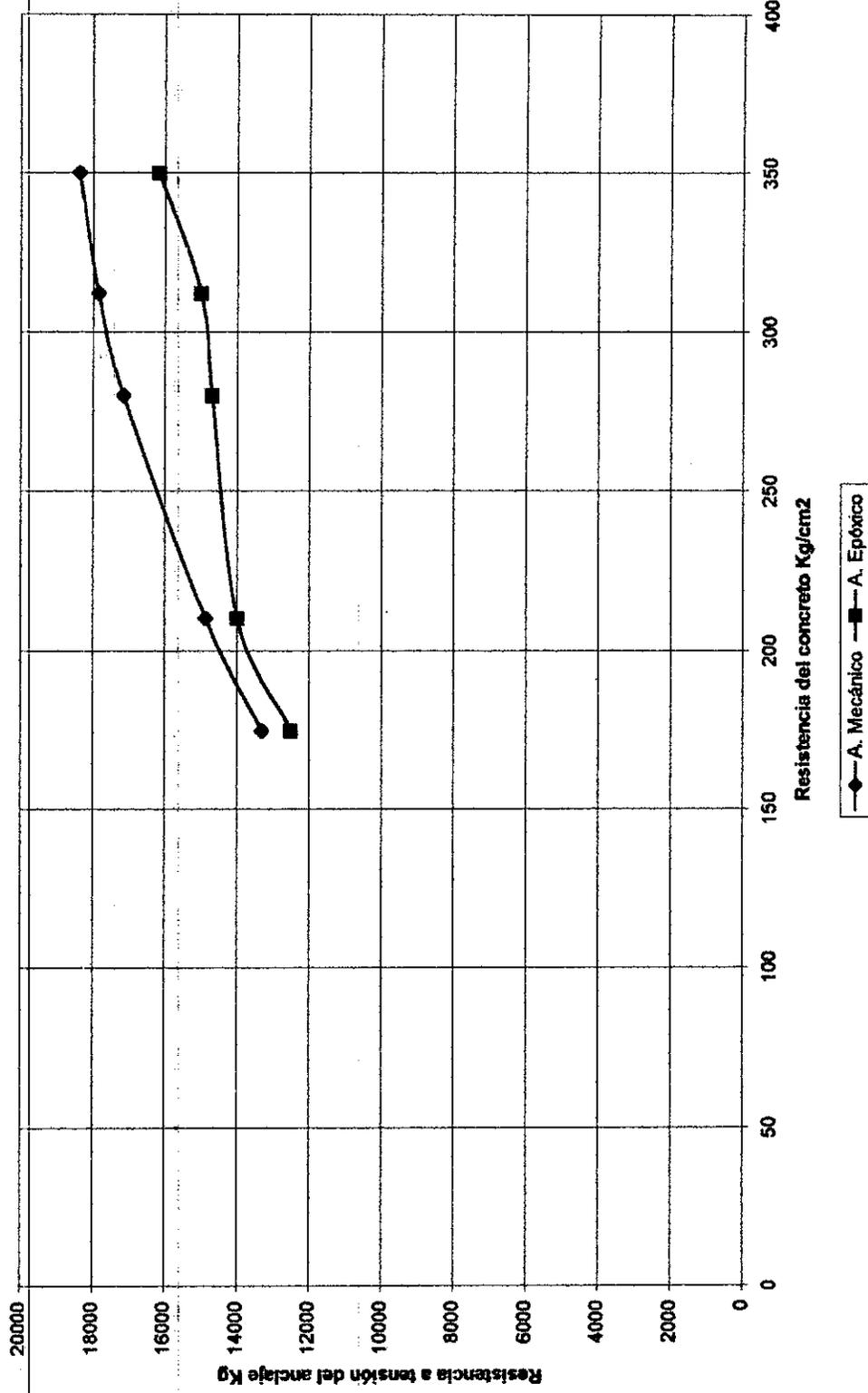


Gráfico 10

Comparación de los sistemas de anclaje para $f_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

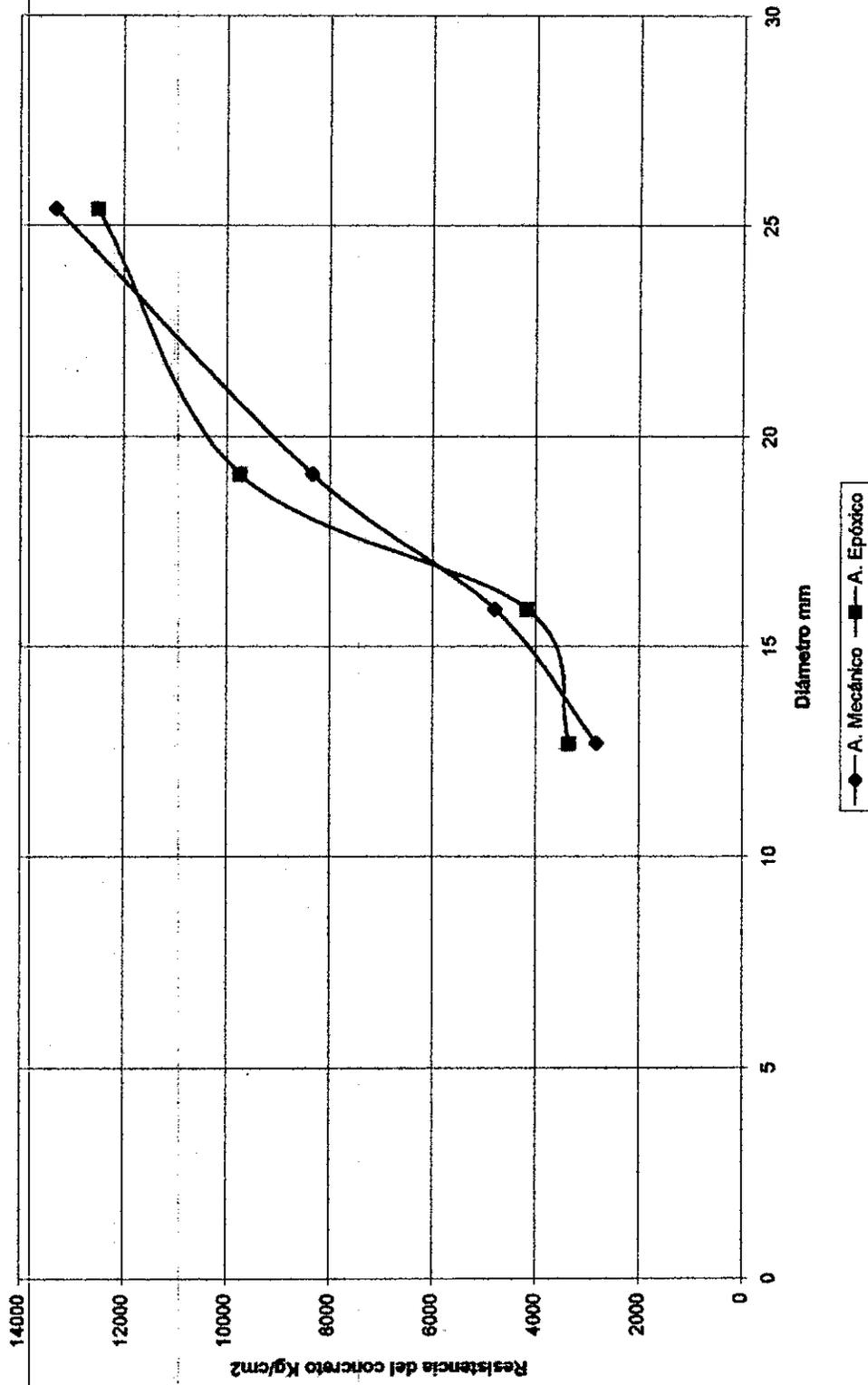
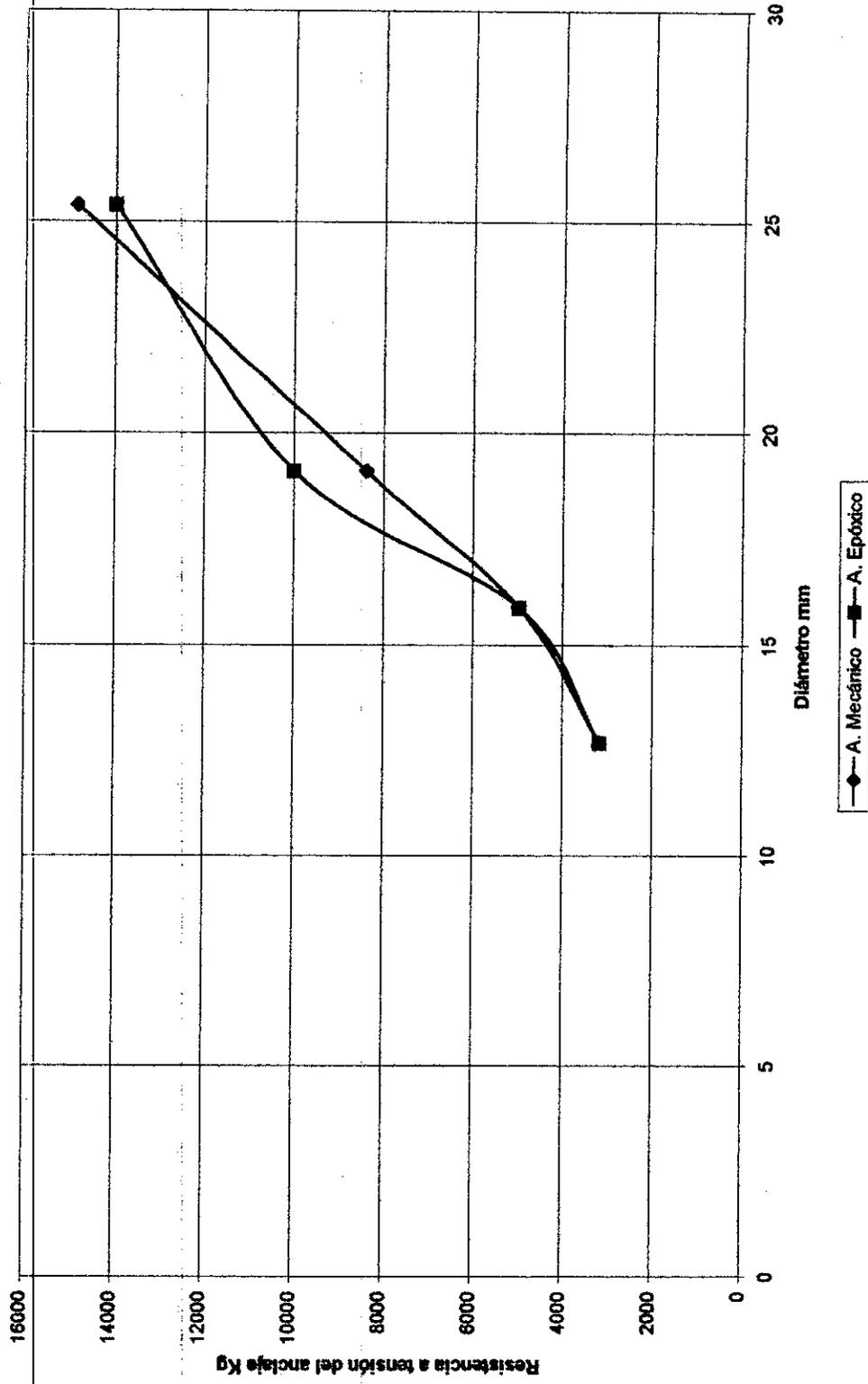
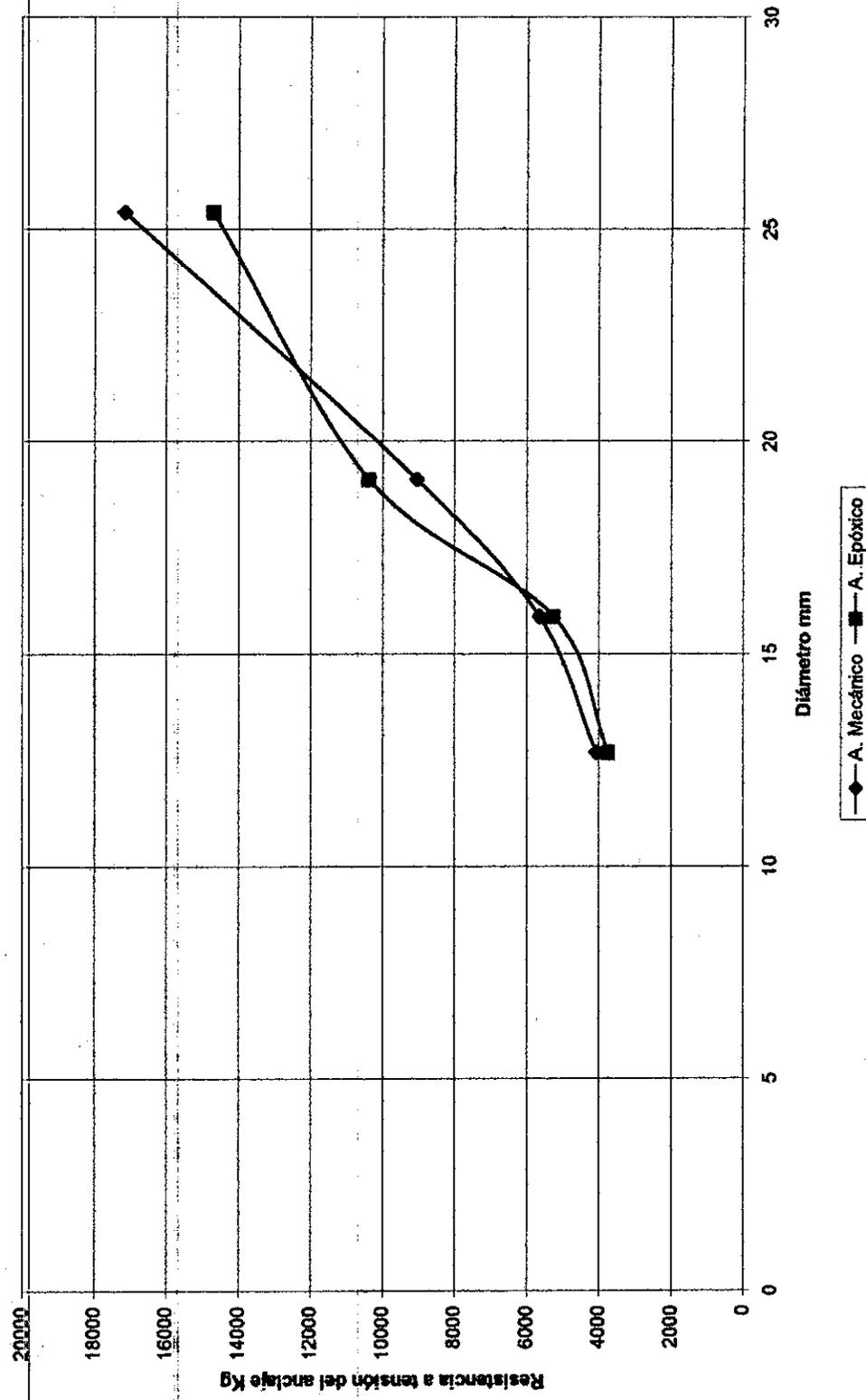


Gráfico 11

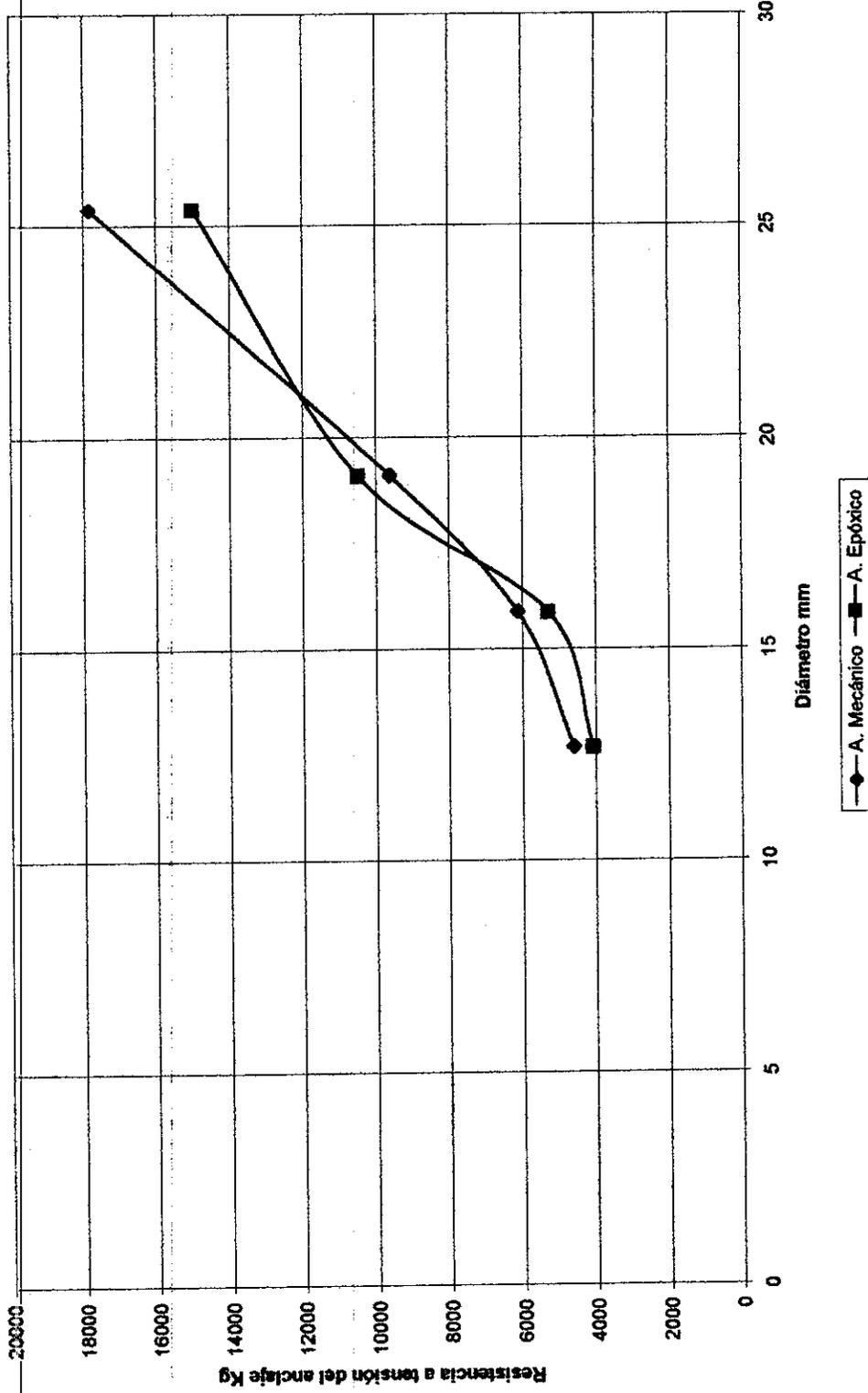
Comparación de los sistemas de anclaje $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



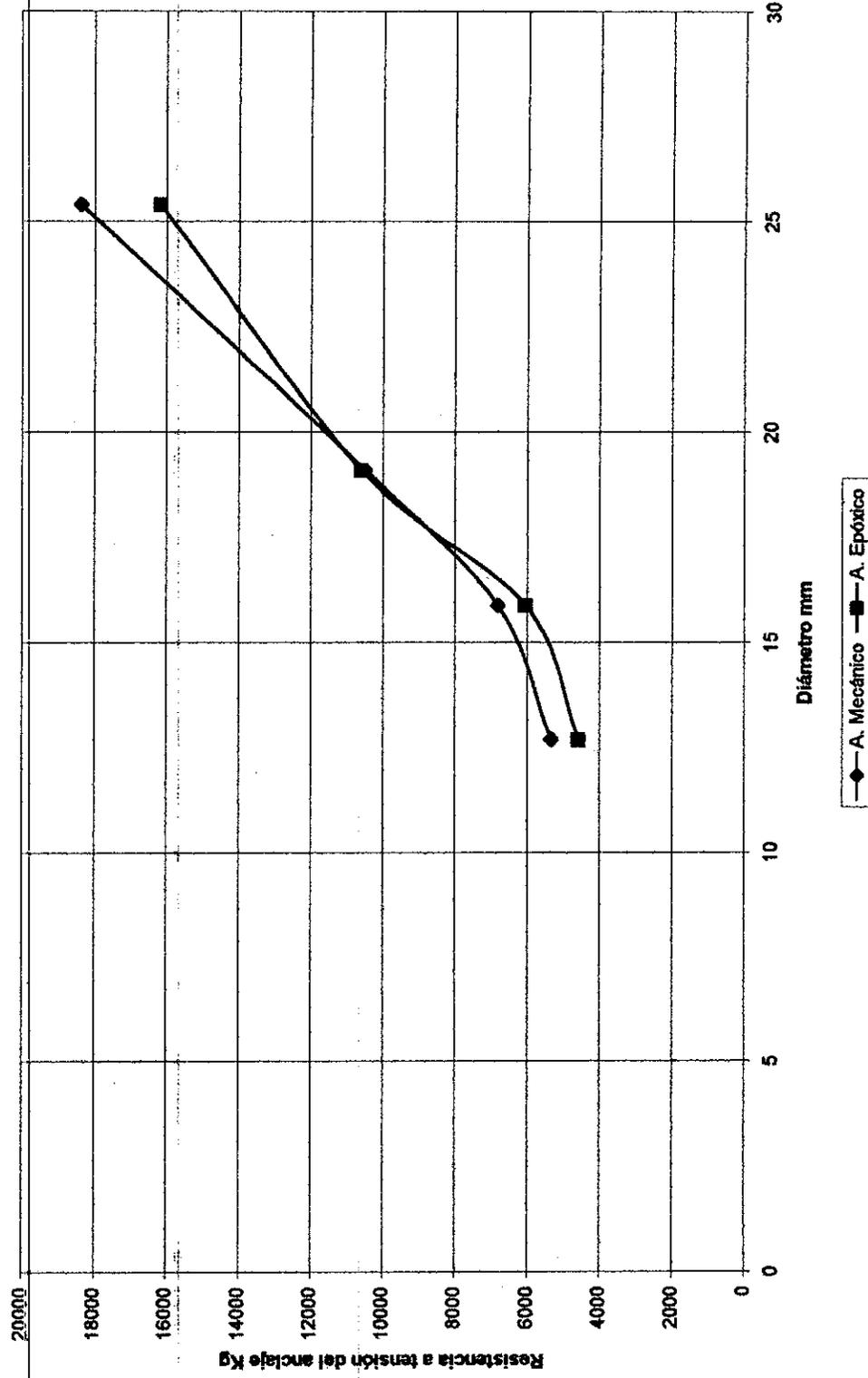
Comparación de los sistemas de anclaje $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$



Comparación de los sistemas de anclaje $f_c = 312 \text{ Kg/cm}^2$



Comparación de los sistemas de anclaje $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$



4.2 ANÁLISIS TEORICO

En cuanto al diseño de anclajes con morteros epóxicos el reglamento del ACI supone la formación de un cono de cortante a 45° (basado en estudios hechos para estructuras de concreto en reactores nucleares) y da la siguiente expresión de carga última a tracción:

$$P_u = 4.72 \times \sqrt{f_c} \times l_a \times (l_a - d_v), \text{ donde:}$$

P_u = carga ultima de tracción,

f_c = resistencia del concreto,

l_a = longitud anclada y d_v = diámetro de la varilla.

Por otra parte en el estudio mostrado en la sección 2.5.3 se introduce el concepto de longitud efectiva de anclaje (l_{aef}) que depende fundamentalmente del método de limpieza.

Cuando en las condiciones de obra se prevee un método deficiente de limpieza en elementos estructurales no masivos:

Si l_a es mayor de 10 cm, $l_{aef} = 0.5l_a$

Si l_a es menor o igual de 10 cm, $l_{aef} = 0.6l_a$

Cuando se prevee una limpieza eficiente y elementos de concreto no masivo:

Si l_a es mayor de 10 cm, $l_{aef} = 0.4l_a + 6$

Si l_a es menor o igual de 10 cm, $l_{aef} = l_a$, donde l_a = Longitud total de anclaje.

En nuestro medio los distribuidores de productos epóxico para el anclaje recomiendan que la longitud de anclaje de varillas en concretos con resistencias menores de 210Kg/cm² sea 15 veces el diámetro y para concretos con mayores resistencias 10 veces el diámetro. En la tabla 14 se muestran las longitudes recomendadas para anclar varillas en concretos con resistencias mayores de 210Kg/cm² y las longitudes efectivas de anclaje para una limpieza deficiente (M1) y para una limpieza eficiente (M2).

Del mismo modo la sección 2.5.3. sugiere el calculo de la carga última de extracción con la siguiente fórmula:

$$P_u = C_1 \times \sqrt{f_c} \times l_{\text{aef}} \times (1.1 \times l_{\text{aef}} + d_v + 0.32), C_1 = 4.3.$$

Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)	L_e (cm)	M1 (cm)	M2 (cm)
1/4	0.64	6.4	3.90	6.4
3/8	0.95	9.5	5.80	9.5
1/2	1.27	12.7	6.35	11.08
5/8	1.59	15.9	7.95	12.36
3/4	1.91	19.1	9.55	13.64
7/8	2.22	22.2	11.10	14.88
1	2.54	25.4	12.70	16.16

Tabla No15. Longitud efectiva de anclaje con limpieza deficiente (M1) y con limpieza eficiente (M2)

En la tabla No 16 se muestran los valores de la carga ultima obtenidos en los ensayos de extracción (laboratorio), lo mismo que los calculados con las formulas expuestas (ACI, limpieza deficiente M1 y limpieza eficiente M2).

Para el diseño de anclajes mecánicos se pueden utilizar las tablas suministradas por los fabricantes como las mostradas en la sección 2.4 complementado los criterios de selección dados con los reglamentos de la NSR 98 en su capitulo C23 que se encuentra comentado en la seccion 2.3.4.

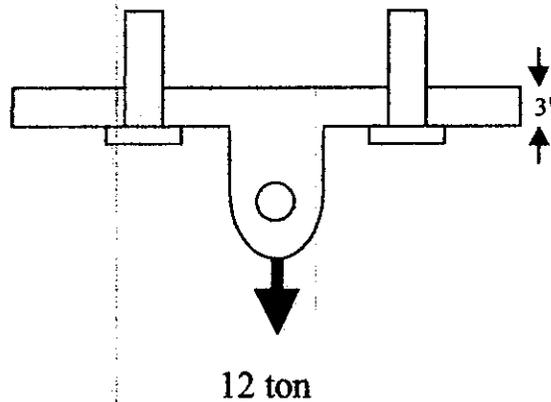
DIÁMETRO	PARAMETRO	VALORES DE LA CARGA ULTIMA DE EXTRACCIÓN (Kg)				
		Resistencia del concreto (Kg/cm ²)				
		210	245	280	315	350
1/4"	Ensayo	1688	1753	1875	2055	2293
	M1	1276	1378	1473	1563	1674
	M2	3190	3446	3684	3907	4119
	ACI	3082	3329	3559	3374	3979
3/8"	Ensayo	2532	2630	2813	3083	3440
	M1	2765	2986	3193	3386	2569
	M2	6938	7494	8011	8497	8957
	ACI	6790	7334	7841	8316	8766
1/2"	Ensayo	3375	3505	3750	4110	4586
	M1	3393	3665	3918	4156	4380
	M2	9513	10275	10984	11651	12281
	ACI	12135	13108	14013	14863	15667
5/8"	Ensayo	5170	5215	5260	5324	6052
	M1	5278	5701	6095	6465	6814
	M2	11943	12899	13790	14627	15418
	ACI	19021	20545	21964	23296	24556
3/4"	Ensayo	10000	10210	10380	10510	10600
	M1	7578	8186	8751	9282	9784
	M2	14648	15822	16914	17940	18910
	ACI	27448	29647	31649	33617	35435
7/8"	Ensayo	12160	12164	12370	12777	13387
	M1	10202	11020	11780	12495	13171
	M2	17532	18937	20244	21472	22633
	ACI	37080	40052	42817	45415	47871
5/8"	Ensayo	1400	14541	14700	15056	16174
	M1	13319	14386	15379	16312	17195
	M2	20780	22445	23995	25450	26827
	ACI	48541	52431	56051	59451	62667

Tabla 16. Comparación de datos de laboratorio y criterios de diseño.

4.3. ANÁLISIS ECONOMICO

Se desarrollará un análisis completo de un sistema de anclaje real, la propuesta es la siguiente;

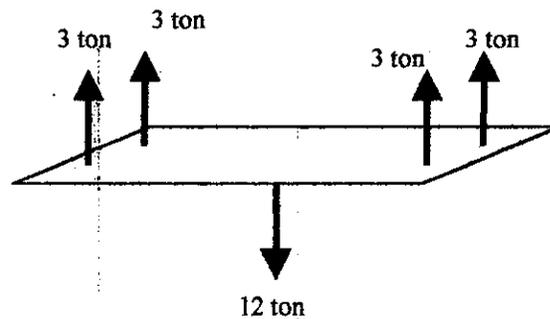
Se debe diseñar el anclaje que soportará una polea que deberá resistir una carga máxima de 12 ton. Dicho diseño se realizará con el sistema de anclaje mecánico y con mortero epóxico.



Partimos de realizar el análisis de cuerpo libre de la estructura como tal, que consta de un elemento polea - lamina que se debe fijar a la placa de entrepiso superior. Las características de la estructura son:

- La placa de entrepiso es de concreto reforzado de 3000 PSI y tiene 35 cm de espesor.

- El sistema que se desea anclar está compuesto de la polea y una placa de base o soporte de sección cuadrada que tiene 3 pulgadas de espesor
- La ubicación del anclaje será vertical invertido. (es decir sobre cabeza)



Como se muestra en la figura, el análisis es simple ya que el anclaje se realizará con 4 pernos distribuidos simétricamente con respecto a la carga por lo tanto la carga máxima de diseño (12 ton), se reparte equitativamente en cada uno de los 4 apoyos, lo que origina que la carga transmitida a los pernos sea 3 toneladas.

4.3.1 ANÁLISIS DEL MODELO DE ANCLAJE CON MORTERO EPOXICO

Este análisis supone que el sistema polea - lamina será sujeto al concreto con pernos de acero corrugado de resistencia nominal de 60000PSI. Los pernos tendrán un extremo roscado que permite la sujeción de la lamina con tuercas.

Para la selección del diámetro del perno se utiliza la carga de diseño de tres (3) toneladas, el esfuerzo de rotura en el acero es de 1540kg/cm^2 , luego:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{4*P}{\pi\phi^2} = \frac{12000Kg}{\pi\phi^2}$$

$$\text{Para } \phi = 1/2", \sigma = 2325.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } \phi = 5/8", \sigma = 1500.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Para } \phi = 3/4", \sigma = 1056.3 \text{ kg/cm}^2 < 1540 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK), con un factor de seguridad de 1.46}$$

Los morteros epóxicos representativos de cada casa distribuidora (Sika y Toxement), que se pueden utilizar por las características del modelo, respectivamente son: Sikadur 31 adhesivo y Toc 5010. Según las especificaciones de la aplicación de los morteros epóxicos el diámetro de la perforación debe ser de 1/4" mayor que el diámetro del perno anclado, es decir el diámetro de la perforación es de 1". La longitud anclada es de 10 veces el diámetro del perno a anclar, en este caso 20 cm. El volumen de mortero epóxico a emplear es

$$\text{Volumen} = \frac{4 \text{ perforaciones} * \pi * ((2.54\text{cm})^2 - (1.90\text{cm})^2) * 20\text{cm}}{4} = 180\text{cm}^3$$

$$\text{Cantidad de material} = 180\text{cm}^3 * 0.0016\text{Kg/cm}^3 = 0.3\text{Kg}$$

Alquiler del taladro: \$76000 / día (incluye el operador)

En el medio se consigue un precio de mano de obra de anclaje de \$1250 para un anclaje de 1/2", de acuerdo a esto se estima que el valor de colocación de cada perno de 3/4" es 1875

ANÁLISIS PARA LOS 4 ANCLAJES

Cantidades de producto y de los tiempos de instalación

Cantidad de producto: 0.3 Kg

Alquiler del taladro: 1/2 día

Valores de producto y aplicación del mismo.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR/UNIDAD	VALOR TOTAL
Producto anclaje	0.3 Kg	19943.00	5983.00
Taladro	1/2 día	76000.00	38000.00
Mano de obra	4	1875.00	7500.00
Perno corrugado	4	2775.00	11100.00
Valor total, anclaje de polea			62583.00

4.3.2 ANÁLISIS DEL MODELO CON ANCLAJE MECÁNICO

Para este análisis se supone como elemento simple polea - lamina, el diseño se limita a buscar por catálogo el anclaje teniendo en cuenta la resistencia y su utilización. De acuerdo a esto el anclaje utilizado para este modelo es: Anclaje de cuña Ref WS - 1009

Características del anclaje: Diámetro de 1" pulgada.

Longitud de 9" pulgadas

Resistencia última a tracción: 25122 libras: 3140 kg (FS = 4)

Valor del anclaje por unidad: 19218.00

Valor de mano de obra por unidad 2625.00

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR/UNIDAD	VALOR TOTAL
Anclaje WS-1009	4	19218.00	\$ 76872.00
Alquiler del taladro	1/2 día	76000.00	\$ 38000.00
Mano de obra	4	2625.00	\$ 10500.00
Valor total anclaje de polea			\$ 125372.00

COMPARACION ECONOMICA DE LOS SISTEMAS DE ANCLAJE

SISTEMA DE ANCLAJE	VALOR GLOBAL	VALOR UNITARIO
CON EPOXICO	\$62583.00	\$15646.00
MECANICO	\$125372.00	\$31343.00

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
ITEM: INSTALACION DE POLEAS CON ANCLAJE EPOXICO				UNIDAD: UND
1. MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. PARCIAL
Mortero epóxico	Kg	0.3	19943.00	5983.00
Perno de acero corrugado	Und	4	2775	11100.00
SUBTOTAL MATERIALES				17083.00
2. HERRAMIENTA Y EQUIPO				
DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	V. PARCIAL
Taladro	Dia	76000.00	2 poleas/dia	38000.00
SUBTOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO				38000.00
3. MANO DE OBRA				
DESCIPCION	TARIFA	RENDIMIENTO	V. PARCIAL	
Cuadrilla de colocación	5000	2/3	7500.00	
SUBTOTAL MANO DE OBRA				7500.00
TOTAL COSTO DIRECTO				62583.00

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
ITEM: INSTALACION DE POLEAS CON ANCLAJE MECÁNICO					UNIDAD: UND
1. MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. PARCIAL	
Anclaje de cuña WS1009	Und	4	19218.00	76872.00	
SUBTOTAL MATERIALES				76872.00	
2. HERRAMIENTA Y EQUIPO					
DESCRIPCION	UNIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	V. PARCIAL	
Taladro	Dia	76000.00	2 poleas/dia	38000.00	
SUBTOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO				38000.00	
3. MANO DE OBRA					
DESCIPCION	TARIFA	RENDIMIENTO	V. PARCIAL		
Cuadrilla de colocación	7000	2/3	10500.00		
SUBTOTAL MANO DE OBRA			10500.00		
TOTAL COSTO DIRECTO				125372.00	

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista teórico los términos relacionados con adherencia y anclaje resaltan como valor fundamental la relación entre el esfuerzo de tensión y el deslizamiento, parámetro que sigue siendo válido aún para el caso del anclaje en hormigón endurecido.

En forma general se puede decir, que la deformación del perno o varilla anclada induce la formación de microgrietas en el concreto en una condición de buena adherencia (efectiva transmisión de esfuerzos), mientras que si existe una deficiente adherencia, el deslizamiento es excesivo y no hay transmisión de esfuerzos, originándose una falla en la que los elementos unidos (varilla - concreto), no desarrollan sus esfuerzos. La fijación de un perno o varilla al concreto endurecido se realiza teniendo en cuenta que exista la transmisión de esfuerzos. Los sistemas de anclaje estudiados consiguen este objetivo por diferentes medios.

Por una parte el anclaje químico introduce un material (mortero epóxico) que recibe la carga de uno de los componentes (la varilla o el hormigón) y la transmite al otro; mientras que el anclaje mecánico recibe directamente la carga a través del perno y la transmite al concreto.

El estudio realizado en este proyecto permite identificar algunos factores comunes que influyen en la resistencia del anclaje:

- Naturaleza y resistencia de los materiales que forman el anclaje: este factor determina el mecanismo de falla ya sea por el concreto con un cono de falla aproximado de 45° o por el acero con su falla de rotura.
- Diámetro del perno o varilla: la influencia del diámetro del perno o varilla en las pruebas de tensión se ve representada en la transmisión de esfuerzos hacia el material que lo rodea, por medio de la superficie de contacto que es directamente proporcional al diámetro.
- Longitud de empotramiento: al igual que el parámetro anterior determina el área de contacto entre los materiales que forman el anclaje, entre menor sea esta, menor es la posibilidad de que los elementos individuales desarrollen sus máximos esfuerzos.
- Forma de la superficie del perno o varilla: la textura superficial del perno o varilla así como la rugosidad del concreto circundante, determina una especie de trabazón, que permite desarrollar mejor los esfuerzos de adherencia.
- Distancia entre anclajes y separación del borde: la separación entre los anclajes determina una interferencia de conos de esfuerzos que cambia el mecanismo de falla.

Existen otros factores constructivos que influyen en la resistencia real del anclaje, como el diámetro de perforación que en el caso de anclaje mecánico debe ser el mismo del perno para que cuando desarrolle su mecanismo de sujeción quede completamente agarrado a las paredes de concreto circundante, mientras que para el anclaje con mortero epóxico se requiere 1/4" más del diámetro del perno para la colocación del mismo.

La temperatura determina la dosificación del mortero epóxico, por ejemplo en un clima cálido, como el que se da en Cartagena, no se puede pensar en una dosificación 2(resina): 1(endurecedor): 3(llenante) a pesar de obtener mejores resistencias como se observa en los ensayos realizados, porque la temperatura aceleraría el endurecimiento de la mezcla impidiendo una adecuada colocación.

Para el diseño de anclajes con mortero epóxico en la tabla No. 16 se observa que las resistencias obtenidas en el ensayo de extracción son comparables con los valores de carga última dados para la suposición de un método de limpieza deficiente en el concreto, por lo tanto se recomienda tener en cuenta este efecto en el diseño.

La fórmula para la estimación de la carga última dada por el ACI sobrestima la capacidad del anclaje, esto puede ser debido a que los estudios fueron hechos para concretos en plantas nucleares donde el control de calidad sobre los materiales es impecable. De todas maneras se recomienda mantener los factores de seguridad dados por las normas y solo reevaluar los datos de las cargas últimas si se realizan in situ, con las condiciones y materiales de obra en forma que se pueda asegurar la resistencia del anclaje.

Un mecanismo sencillo que se propone para controlar la colocación del mortero es la medición de volúmenes del mismo, antes y durante la colocación.

Para la colocación de anclajes mecánicos se debe tener en cuenta la verificación del torque aplicado para asegurar el empuje del sistema sobre las paredes del concreto.

La comparación económica hecha con el modelo real indica que es más económico el anclaje con mortero epóxico, esto se debe principalmente a la diferencia en los costos de los materiales; en el anclaje con mortero epóxico los materiales representan el 28% del costo directo, mientras que en el anclaje mecánico esta misma relación es del 60%. Esta situación no es una regla general y lo mejor es realizar un estudio específico para cada obra en particular.

La economía en muchos casos determina la selección del tipo de anclaje, sin embargo no se pueden obviar otros aspectos como la facilidad y rapidez de colocación. Además, como factor importante se debe tener en cuenta las características de sollicitación a la hora de escoger entre los sistemas de anclaje, es decir, verificar que condiciones se presentan en obra; si el modelo no es estático propiamente dicho, la idea de utilizar anclajes mecánicos no es la mejor opción, ya que por estar anclado integralmente a la masa de concreto va a estar sujeto a movimientos o vibraciones de acuerdo al tipo de esfuerzo a que esté sometido, y aunque estos movimientos sean milimétricos dan lugar a desgastes internos y por consiguiente a un deterioro seguro del anclaje. Por el contrario en este caso en especial (modelo no estático) el anclaje con mortero epóxico se comporta excelente ya que éste

sistema se rigidiza proporcionando un estado monolítico a la estructura del anclaje como tal.

Los niveles de resistencia ofrecidos por los sistemas de anclajes mecánico y con mortero epóxico, son prácticamente iguales, ofrecen muy buenos resultados alcanzando resistencias altas como se observa en las gráficas del 1 al 6, para la comparación específica se trazaron los gráficos del 7 al 15 donde se ve claramente la variación de cada uno de los sistemas de anclaje, en los que se observa la similitud de valores y una tendencia similar en el comportamiento de ambos.

Un factor determinante es la experiencia del personal en el manejo de éstos productos, así como el conocimiento del diseñador para estimar en forma adecuada el comportamiento del sistema de anclaje y las condiciones de obra.

Los niveles de seguridad ofrecidos por los anclajes no dependen exclusivamente de su resistencia, sino también de las condiciones a que son sometidos, es decir que no se puede exponer un anclaje a una situación para la cual no ha sido diseñado. En la selección de anclajes se debe examinar cuidadosamente las características del trabajo que se va a ejecutar teniendo en cuenta las condiciones ambientales como niveles de corrosión exposición a altas temperaturas, vibración y otros factores como estos que pueden determinar el uso de un determinado tipo de anclaje.

En cuanto a la comparación mostrada en los gráficos del 7 al 15 se observa lo siguiente:

- Los sistemas de anclaje tienen un comportamiento similar, su resistencia aumenta a medida que aumenta tanto el diámetro del perno o varilla anclada como la resistencia del concreto.
- En los diámetros de 12.7mm y 15.88mm (gráficos 7 y 8) se observa un mejor comportamiento a tensión del anclaje mecánico, aunque para algunas resistencias de concreto el anclaje epóxico brinda mejores resistencias. En el gráfico 9 se observa que para un diámetro de 19.10mm el anclaje epóxico supera al mecánico, mientras que en la figura 10 para 25.4mm de diámetro ocurre lo contrario.
- En los gráficos del 11 al 15 se observa una similitud de comportamiento de los sistemas de anclaje en cuanto a la variación de diámetro para una misma resistencia de concreto.

Por lo anterior, se recomienda:

1. Para anclajes con mortero epóxico:

La limpieza del orificio de perforación debe ser lo suficientemente buena, para garantizar la mayor adherencia del mortero epóxico, se recomienda darle rugosidad con cepillo metálico y limpieza con aire. Por otra parte el acero debe estar libre de grasas que impidan la adherencia con el mortero.

Con espesores pequeños de la capa de mortero epóxico se asegura una transmisión de esfuerzos efectiva; esto se debe al modulo de elasticidad del mortero y a que su relación carga - deformación tiene un mejor comportamiento en espesores bajos.

La dosificación recomendada por los fabricantes es de 1:2:3, con la experiencia del ensayo se comprobó que la dosificación especial para climas cálidos como Cartagena es de 1:2:2, se recomienda por el tiempo de manejabilidad que ofrece.

El mejor desempeño de este tipo de anclaje se presenta en anclaje de maquinaria y elementos estructurales por tener características autonivelantes y excelente resistencia a la vibración, sin embargo en estructuras donde se presentan temperaturas superiores a los 60°C el mortero epóxico pierde por completo su resistencia. (El compuesto se cristaliza)

2. Para anclajes mecánicos:

El diámetro de perforación debe ser exacto para asegurar el mejor comportamiento del anclaje.

Las condiciones del ambiente, son un factor importante a la hora de elegir el material a utilizar para no incurrir en gastos adicionales de mantenimiento.

La temperatura es un factor determinante en su desempeño por las características propias de contracción a bajas temperaturas y dilatación a altas temperaturas.

Para el uso de anclajes en gran escala se recomienda hacer pruebas con los materiales de sitio y las condiciones de trabajo para obtener una representación más real de la resistencia del sistema de anclaje.

ANEXOS



Sikadur-42 Anclaje

DESCRIPCION

Mortero fluido de tres componentes con base en resinas epóxicas y agregados de cuarzo seleccionados. Adhiere sobre superficies absorbentes secas o húmedas o superficies metálicas secas.

USOS

Para anclaje de pernos cables, tirantes, postes de pasamanos, etc, en superficies horizontales.

Para nivelar fundaciones de maquinaria o platinas de soporte para puentes, columnas, maquinaria, etc.

Para la fijación de rieles sin durmientes.

Para reparar, rellenar y sellar hormigueros, cavidades y grietas anchas en superficies horizontales de concreto.

Como mortero fluido de alta resistencia y adherencia en uniones rígidas de concreto, acero y madera.

VENTAJAS

- Rápida obtención de resistencias mecánicas.
- Altas resistencias finales.
- Adhiere sobre superficies absorbentes húmedas o metálicas secas.
- No presenta contracción
- Alta resistencia a vibraciones.
- No contiene solventes.
- Disponible en dos versiones de curado (Normal y Lento).

MODO DE EMPLEO

Preparación de la superficie:

- Superficies de concreto: La superficie debe estar sana y limpia, libre de partes sueltas, contaminación de aceites, polvo, residuos de curadores, lechada de cemento u otras sustancias extrañas.

La superficie de concreto puede estar seca, húmeda o saturada (pero libre de empozamientos) y debe tener una edad mínima de 28 días.

Método de limpieza: Chorro de arena, grata metálica, pulidora .

- Superficies metálicas: La superficie debe estar limpia y seca, libre de óxido, cascarilla de laminación grasa u otras sustancias extrañas.

Método de limpieza: chorro de arena a metal blanco, grata metálica o pulidora.

Aplicar el producto inmediatamente después de la limpieza de la superficie metálica.

Preparación del producto:

Agitar separadamente los dos componentes. Verter completamente el Componente B sobre el

Componente A y mezclar mínimo 1 minuto con taladro de bajas revoluciones (máximo 300 r.p.m.) o manualmente hasta obtener una mezcla homogénea. Evite introducir aire. Agregar lentamente el Componente C sin suspender el mezclado hasta que el mortero epóxico este completamente homogéneo.

Aplicación:

Se deja reposar la mezcla por 2-3 minutos antes de aplicar. Para nivelaciones verter el mortero listo en el molde construido manteniendo suficiente presión por gravedad para garantizar un flujo continuo del mortero. Prever escape de aire en el lado opuesto. Para volúmenes grandes aplicar en varias capas, colocando capas posteriores en cuanto la anterior haya endurecido y enfriado.

Lave las manos con agua y jabón después de la aplicación. Las herramientas se limpian con Colma Limpiador cuando el producto todavía esté fresco. El producto endurecido se retira por medios mecánicos.

Consumo:

Aproximadamente 2 kg de mortero por cada litro de relleno

DATOS TECNICOS

Color:	Gris
Consistencia:	mortero fluido
Densidad:	Aprox. 2,0 kg / l a 20°C
Proporción de la mezcla en peso:	A: B: C = 2:1: 12
Vida en el recipiente:	Versión Normal 5 kg a 10°C = 90 min a 20°C = 50 min a 30°C = 20 min Versión Lento 5 kg a 20°C = 100 a 30°C = 50 min a 40°C = 25 min
Espesor máximo:	4 cm por capa
Resistencia mecánicas: (10 días, 20°C)	
• Compresión:	Aproximadamente 800 kg/cm ²
• Flexión:	Aproximadamente 400 kg/cm ²
• Tensión:	Aproximadamente 150 kg/cm ²
• Adherencia al concreto:	Aprox. 30 kg/cm ² falla del concreto
Límites:	
Temperatura del sustrato:	
- Mínimo:	5°C
- Máximo:	40°C

PRECAUCIONES

El Sikaclur-42 Anclaje contiene endurecedores que son nocivos antes del curado del producto. Evite inhalar los vapores y prevea una ventilación adecuada en recintos cerrados. (en caso de contacto con los ojos, lávelos con agua tibia en abundancia y acuda inmediatamente al médico).

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Usar guantes de caucho y gafas de protección para su manipulación, aplicar en lugares ventilados y cambiarse ropas contaminadas. Consultar Hoja de Seguridad del producto.

PRESENTACION

Unidad: (2 tarros y una bolsa) 5 kg

Unidad: (2 tarros y una bolsa) 15 kg

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

El tiempo de almacenamiento es de un (1) año en su envase original, bien cerrado en lugar fresco y bajo techo. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.

CODIGOS R/S

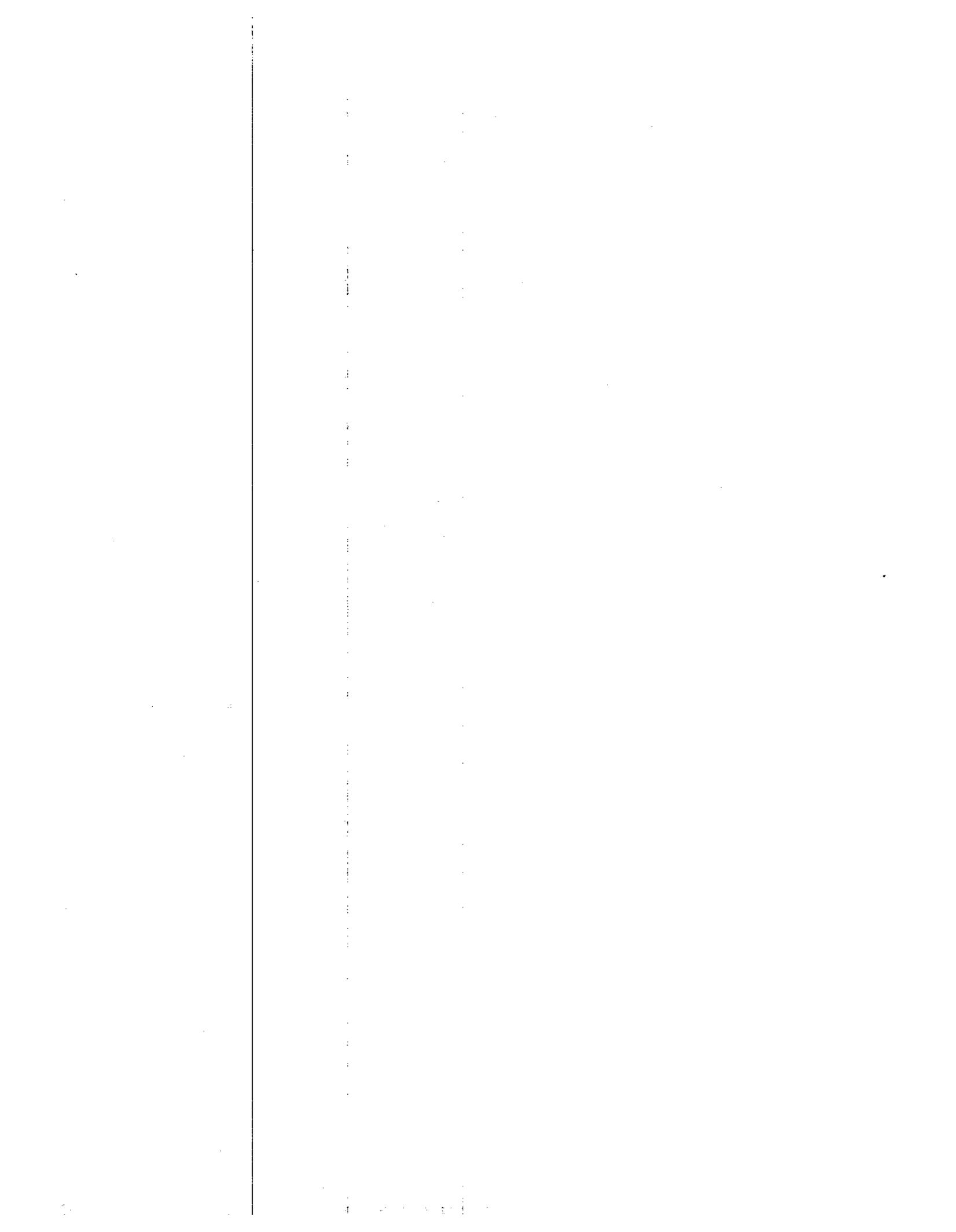
Comp. A R: 36/37/38/43 S: 22/24/26

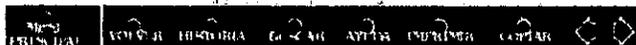
Comp. B R: 36/37/38/43 S: 24/25/26

Si necesita información adicional consulte al **Departamento Técnico de Sika Andina S.A.** Servicio al cliente desde cualquier lugar del país **9800-1-7452** y en Santafé de Bogotá al **2926184**.

ADVERTENCIA

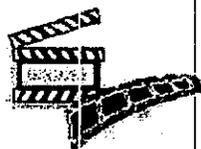
Todos nuestros productos han sido desarrollados y fabricados con toda la precaución razonable de acuerdo a normas de exactitud y calidad de SIKKA, la información que suministramos es correcta de acuerdo con nuestra experiencia; los productos tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante no se responde por variación en el método de empleo, condiciones en que sean aplicados, cuando la vigencia del producto esté vencida, o si son utilizados en forma que afecte la salud o, cualquier patente propiedad de otros; para usos especializados o cuando surgan dudas en cuanto al uso o aplicación de un producto, deberá consultarse al Departamento Técnico de SIKKA.





TOC 8004-1 ANCLAJE

Anclaje epóxico y mortero de nivelación.



DESCRIPCION

TOC 8004-1 ANCLAJE es un sistema epóxico de tres componentes recomendado para el anclaje de todo tipo de elementos estructurales, en la nivelación de maquinaria y como relleno sin contracciones.

Parte A:	Líquido transparente de coloración amarilla.
Parte B:	Líquido viscoso color Ambar.
Parte C:	Relleno silíceo de granulometría especial.
DENSIDAD (A+B+C):	Mortero autonivelante 1,8 kg/l \pm 0,02
Pot Life:	1 hora a 20°C - 100 gr. de material
Viscosidad (A+B):	280 CP a 20°C

RESISTENCIA QUIMICA

EXPOSICION	GOTEOS Y DERRAMES
Acidos	Muy bueno
Alcalis	Excelente
Solventes	Muy Bueno (excepto Cetonas)
Sales	Excelentes
Agua	Excelentes

RESISTENCIA A LA TEMPERATURA (NO INMERSION)

Continua	71°C (160°F)
Ocasional	93°C (200°F)

PROPIEDADES FISICAS

-Resistencia a la compresión hasta la rotura: 9.000 p.s.i. (633 kg/cm²) a tres días en condiciones de laboratorio. NORMA ASTM C-109.

USOS

TOC 8004-1 ANCLAJE es recomendado en el anclaje de pernos para la instalación de maquinaria, anclaje de elementos estructurales, nivelación de platinas y en general como mortero nivelante y sin contracciones, donde se requieran excelentes condiciones que no se puedan lograr con morteros de cemento Portland normal.

TOC 8004-1 ANCLAJE es utilizado principalmente para anclaje de maquinaria sometida a vibración.

APLICACION

TOC 8004-1 ANCLAJE debe aplicarse en concretos que tengan por lo menos 28 días de curado a 21°C (79°F) y 50% de humedad relativa, o un tiempo equivalente.

Las superficies deben estar estructuralmente sanas, limpias, libres de polvo, mugre, grasa y totalmente secas.

ANCLAJE DE PERNOS

Para obtener un anclaje de excelente calidad, se deben seguir y tener en cuenta los siguientes parámetros:

-La profundidad de la perforación para concretos de 3000 PSI (210 kg/cm²) y más, debe ser 10 veces el diámetro del perno y para concretos de resistencias menores a los 3000 PSI (210 kg/cm²) de 15 veces el diámetro del perno.

Se debe hacer un espacio anular, media pulgada (1-2") más grande que el diámetro mayor del perno.

-El perno debe estar completamente limpio; para asegurar esta limpieza, empápelos en CARBOMASTIC No. 1 de TOXEMENT y séquelos al aire por espacio de 20 minutos.

-Homogenice completamente y por separado cada una de las partes A y B y luego combínelas y mézclelas en una proporción en volumen de 2 partes de A por una de B. Adicione la parte C y continúe mezclando hasta completa homogenización y sin grumos. No se debe mezclar más de la cantidad que se alcance a aplicar en 30 minutos.

-Se debe tener cuidado en engrasar la rosca de los pernos, para que cualquier proporción de epóxicos que quede en la rosca no vaya a fraguar sobre ella.

TIEMPO DE CURADO TEMPERATURA	CURADO INICIAL	CURADO FINAL
4°C	2 días	28 días
16°C	16 horas	14 días
24°C	8 horas	7 días
32°C	4 horas	3 días

-Añada hasta tres volúmenes de componente C por uno de mezcla A y B en la preparación del mortero. Para aberturas limitadas a una pulgada (1") o menos use de 1 a 2 partes del agregado C para obtener un mortero de mayor fluidez.

-No se requiere ningún tipo de curado especial.

TEMPERATURA DE APLICACION	PRODUCTO	SUPERFICIE	AMBIENTE	HUMEDAD
NORMAL	16-29°C	13-29°C	13-29°C	30-60%
MINIMA	13°C	4°C	4°C	0%
MAXIMA	32°C	43°C	35°C	85%

RENDIMIENTO

1,8 kg. ± 0,1

lt

en la proporción suministrada.

RECOMENDACIONES

-No aplicar sobre concreto que no tenga por lo menos 28 días a 21°C y 50% de humedad relativa o un tiempo equivalente.

-Se debe tener cuidado en engrasar la rosca del perno para evitar que algo de epóxico que pudiera caer sobre ella, no pueda ser retirado con facilidad.

-No se debe mezclar más de la cantidad que se pueda aplicar en 30 minutos.

-Las herramientas y equipos empleados en la aplicación deben limpiarse con CAREOMASTIC No. 1 de TOXEMENT inmediatamente después de finalizado el trabajo.

VENTAJAS

- TOC 8004-1 ANCLAJE es un producto de baja viscosidad.
- Se obtienen anclajes de excelentes características y altas resistencias.
- Los equipos y maquinarias se pueden dar al servicio rápidamente.
- Proporciona un medio de anclaje sin contracción y resistente a la corrosión.
- Para una amplia variedad de condiciones atmosféricas en las cuales los anclajes de cemento Portland normal muestran fallas repetidamente, el TOC 8004-1 ANCLAJE presenta un comportamiento que los supera completamente.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Los componentes del TOC 8004-1 ANCLAJE deben almacenarse separadamente en su empaque original herméticamente cerrado, bajo techo y protegido del calor intenso o llama directa.

Vida útil en almacenamiento: 1 año.

PRESENTACION

UNIDAD:	5 kg.	UNIDAD:	15 kg.
PARTE A:	0,7 kg.	PARTE A:	2 kg.
PARTE B:	0,3 kg.	PARTE B:	1 kg.
PARTE C:	4 kg.	PARTE C:	12 kg.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

Toxement se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

BIBLIOGRAFIA

NARANJO VILARIO, Ricardo. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Jornadas Estructurales de la ingeniería de Colombia, 1985. P.307 - 346.

NAWY G., Edwar. Concreto reforzado: Un enfoque básico. México: Prentice Hall, 1995. P 408 - 449.

RAMSET RED - HEAD, Manual técnico para Arquitectos e Ingenieros. Illinois.

REHM, Gallus. Adherencia y anclaje. En: Monografias IETCC. Madrid, 1969. P 1-27.

RODRIGUEZ LOPEZ, fernando. FERNANDEZ GOMEZ, Jaime Antonio. Hormigón y acero. Madrid, 1986. P 125-139.

SANDINO PARDO, Alejandro; RODRIGUEZ, Carlos Alberto; GOMEZ, Jose Gabriel y NARANJO, Ricardo. Tecnología del concreto. Bogotá; AICUN, 1988. P 189-196.

SIKA ANDINA. Catálogo General.

SIMESA. Guía para los ingenieros calculistas y constructores de estructuras de concreto.

15 ed. Medellín, 1996.

TOXEMENT. Catalogo general: especificaciones técnicas 11 ed. Bogotá, 1996.

ZERMENO DE LEON, Mario E. Anclaje de barras de acero utilizando resinas epóxicas.

En: construcción y tecnología: México, 1990. Vol 3. P 10 - 19.