

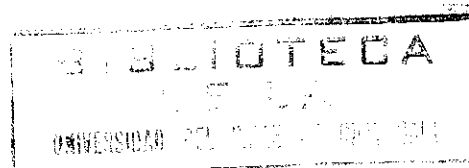
**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Detalles constructivos de acero de refuerzo en
Estructuras de concreto**

Autor: Walter Jacobo García Mejía


**Trabajo de investigación presentado
Para obtener el grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil**



**Guatemala
1,996**

**DETALLES CONSTRUCTIVOS DEL ACERO DE
REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

Vo. Bo.

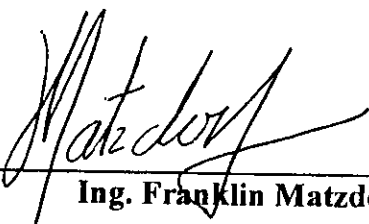


Ing. Ricardo Gómez
Asesor

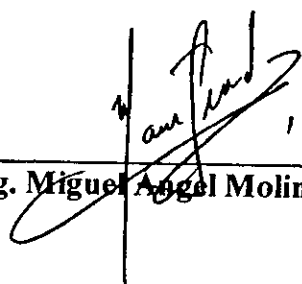
Tribunal Examinador



Ing. Ricardo Gómez



Ing. Franklin Matzdorf



Ing. Miguel Ángel Molina

Fecha Aprobación:

23 de Octubre de 1996.

INDICE

	Pagina.
INDICE	ii
Capítulos	
I. INTRODUCCION.....	3
II. PROPÓSITOS DEL REFUERZO.....	5
III. TIPOS DE REFUERZO.....	6
IV. EMPALMES.....	8
A. EMPALMES A TENSION.....	9
B. EMPALMES A COMPRESION.....	14
C. EMPALMES MECANICOS O DE CONTACTO.....	16
V. ANCLAJES.....	18
A. GENERACION DE ANCLAJE Y ADHERENCIA POR FLEXION...	21
B. ANCLAJES RECTOS PARA VARILLAS CON TENSION.....	21
C. ANCLAJES PARA VARILLAS CON COMPRESION.....	22
D. GANCHOS Y DOBLECES.....	23
VI. RECUBRIMIENTOS.....	30
A. PROTECCIÓN DEL CONCRETO PARA EL REFUERZO.....	31
VII. ESPACIAMIENTO.....	34
VIII. CONCLUSIONES.....	38
IX. BIBLIOGRAFIA.....	39

INTRODUCCIÓN

Estudios recientes para comprender el comportamiento de las estructuras de concreto han producido métodos más elaborados de análisis y diseño.

Las técnicas orientadas a computadoras permiten realizar con rapidez los análisis de estructuras altamente indeterminadas.

Se podría pensar que este solo desarrollo produciría estructuras más funcionales y económicas. Sin embargo, todo buen diseñador sabe que el diseño no solo consiste en proporcionar una sección estructural u obtener esfuerzos seguros.

Algunos de los aspectos igualmente importantes de un diseño exitoso son la economía global y la facilidad de construcción. En efecto, un análisis complejo se hace inútil si los cálculos no se pueden traducir a estructuras exitosas. Esto puede suceder cuando una estructura queda representada por un conjunto de dibujos no muy bien detallados.

El análisis estructural no es más que una de las muchas herramientas utilizadas por el ingeniero hábil; en el proceso de diseño. Es un requisito necesario, pero insuficiente para un buen diseño.

El detallado consiste en la preparación de dibujos de colocación, detalles de las varillas de refuerzo, y listas de las varillas que se utilizan para fabricar y colocar el refuerzo en las estructuras.

Pero el detallado también incorpora todo el proceso de razonamiento por el cual el diseñador permite que cada parte de su estructura funcione con seguridad, bajo las condiciones de servicio y con eficiencia cuando la estructura se somete al esfuerzo de carga última o deformaciones máximas.

Para reforzar correctamente una estructura de concreto, el diseñador debe poseer una comprensión profunda de su comportamiento, más allá de la determinación de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad de deformación.

Esta comprensión se debe basar en un conocimiento total de las propiedades de los materiales y del comportamiento estructural que evidencian las pruebas, más que de los resultados obtenidos de modelos matemáticos. El diseño basado en el concepto de resistencia y comportamiento de colapso refleja en gran medida esta filosofía.

Para que la gran cantidad de trabajo que se ha de hacer pueda avanzar con rapidez, debe haber cierta estandarización y simplificación del detallado del concreto reforzado.

Esto es esencial para que podamos aprovechar el potencial de las computadoras para detallar, programar y procesar datos del refuerzo así como presentar los resultados de tal manera que el contratista pueda trasladar la información a la obra sin demora o dificultad.

Respecto a este tema el comité 315 del American Concrete Institute (ACI) estudió e informó de los aspectos sísmicos mínimos del detallado.

Sin embargo, se requiere un estudio experimental adicional que simule las condiciones sísmicas antes de que se pueda llegar a una conclusión satisfactoria con respecto al detallado.

El detallado basado en la comprensión y percepción del comportamiento estructural del concreto reforzado es una diversidad cada vez más creciente de casos.

Del conocimiento de las demandas cambiantes de la economía y de las limitaciones de las prácticas de construcción, el detallado puede requerir tanta energía creativa como la deducción de las acciones del análisis matemático.

Ya que muy raramente se aplica la carga externa directamente al refuerzo, el acero puede recibir su participación de la carga sólo del concreto que lo rodea.

Debido a la baja resistencia a la tensión del concreto, se ahoga acero en él para resistir dichos esfuerzos. Ahora bien, el acero también se utiliza para recibir la compresión en vigas y columnas y permitir el uso de elementos más pequeños.

Asimismo, sirve para otros fines, controla las deformaciones debidas a la temperatura y a la contracción y distribuye la carga al concreto y al resto del acero de refuerzo.

Puede utilizarse para presforzar (someter un elemento estructural a un esfuerzo de terminado antes de su utilización definitiva) el concreto y sirve para amarrar entre sí a otros refuerzos, para facilitar el colado o resistir esfuerzos laterales.

La mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o alambres. Sus superficies pueden ser lisas o corrugadas. Este último tipo es el de empleo más general, porque produce mejor adherencia con el concreto, debido a las rugosidades y salientes de la varilla.

Los diámetros de las varillas varían $\frac{1}{4}$ a $2\frac{1}{4}$ de pulgada y comercialmente se designan por el número de octavos de pulgada que mida el diámetro de una varilla, así una varilla con diámetro $\frac{3}{8}$ de denominaría varilla No. 3.

Los buenos detalles estructurales son vitales para que las estructuras de concreto reforzado tengan un desempeño satisfactorio. Al paso de los años, gradualmente se han desarrollado una práctica estándar para los detalles de refuerzo.

La preparación apropiada de los planos estructurales de armados requiere de conocimientos generales de todo el procedimiento, desde la etapa de diseño hasta la colocación del acero de refuerzo.

II. PROPÓSITOS DEL REFUERZO

A. Antes de examinar en detalle el refuerzo, es conveniente definir claramente su propósito. Se puede suministrar acero de refuerzo en el concreto para lograr lo siguiente:

1. Resistir las fuerzas internas de tensión deducidas del análisis, que supone que el concreto circundante no desarrolla tensión. En consecuencia, el refuerzo debe asegurar que una estructura posea resistencia adecuada.
2. Asegurar que los anchos de las grietas bajo condiciones de servicio no excedan los valores recomendados. Se debe recordar que dentro de los límites prácticos y económicos, el refuerzo no puede impedir el agrietamiento.
3. Impedir el agrietamiento excesivo que pueda derivarse de la contracción o cambios de temperatura cuando los elementos estructurales están restringidos.
4. Suministrar fuerzas de compresión cuando el concreto solo, que es más adecuado para satisfacer esta función, no puede resistir la presión interna.
5. Restringir las varillas a compresión contra el movimiento lateral de tal manera que se impida el pandeo.
6. Suministrar confinamiento en áreas altamente esforzadas a compresión de columnas, vigas y juntas.
7. Dar protección contra el deslajamiento (efecto de presentar fallas en forma de escama o lajas delgadas) al recubrimiento protector contra incendios sobre miembros de acero y dar también soporte al sistema de refuerzo durante la construcción.

Además de estos propósitos se podría mencionar el de aumentar la capacidad de carga que por sí solo tiene el concreto. Además aumenta la resistencia al esfuerzo de compresión y genera un aumento en la resistencia al esfuerzo de tensión que se generan en las estructuras de concreto.

Como se dijo anteriormente, de una buena adherencia entre concreto y acero depende en funcionamiento de ambos materiales como una sola estructura compuesta.

Es de vital importancia tener en cuenta los métodos y normas recomendados para la preparación de los planos de diseño, detalles típicos y croquis para la colocación y armado del acero de refuerzo en estructuras de concreto reforzado. De esto depende en gran parte el éxito de la utilización del refuerzo en dichas estructuras.

II. TIPOS DE REFUERZO

Aunque los requisitos aplicables llevan por título “refuerzo metálico”, solo se permite el uso de acero.

El hierro fundido ya no es utilizable como parte de un miembro compuesto. Para el concreto armado se pueden utilizar varillas de refuerzo corrugadas, alambre o tela de alambre soldada. Las varillas lisas y el alambón liso sólo se usan como espirales en columnas. La tela de alambre soldada puede estar formada por alambón liso o corrugado.

Para la construcción compuesta de acero y concreto se puede utilizar tubo de acero o formas soldadas (perfiles laminados) y miembros de acero estructural fabricados. Para el presforzado se emplea alambre, cable torcido o varilla de bajo contenido de aleación y alta resistencia.

A. Varillas de refuerzo y requisitos especiales

Las especificaciones de referencia de la ASTM cubren cuatro tipos diferentes de varillas de acero de refuerzo corrugadas (llamadas de aquí en adelante “varillas de refuerzo”). Estas especificaciones de la ASTM se identifican como A615-78 para el acero ordinario de lingote, A616-78 para el acero para rieles laminado por segunda vez, A617-78 para el acero para ejes laminado por segunda vez y A706-78 para el acero especial con bajo contenido de aleación.

Las disposiciones del código ACI se refieren específicamente al uso de acero de refuerzo normal de grado 60 (60,000 libras por pulgada cuadrada de resistencia).

El código incluye provisiones para la conversión de diversas constantes y coeficientes para aplicar las disposiciones a los aceros de grado 40 y 50, que se obtienen en el comercio y que se describen en las especificaciones de la ASTM, así como para aceros de otros grados, hasta un máximo de 80,000lb/pulg² de resistencia a la fluencia, que no se consiguen en el comercio y para los cuales no hay especificaciones de la ASTM.

Este límite se aplica al esfuerzo no presforzado únicamente y no a los tendones de presforzado.

El conflicto principal entre los requisitos de las especificaciones normales de la ASTM y del código ACI lo crea el requerimiento especial de prueba de doblez que impone este último. Este conflicto es puramente académico para el ingeniero en ejercicio, excepto para la protección legal un tanto dudosa que se logra por el estricto apego al código.

La preocupación práctica básica para la seguridad estructural requiere que los bastones y dobleces normales, como los define el código, se puedan hacer sin crear grietas transversales microscópicas que puedan escapar a la inspección visual y convertirse en parte de la estructura terminada.

Además, tales ganchos deben dejar suficiente ductilidad residual, para que se puedan formar un poco más al obrar el esfuerzo máximo de tensión en la varilla al triturarse el concreto situado en el interior del doblado, sin haber falla frágil prematura en el gancho. No se ha encontrado ninguna relación publicada de fallas ni de investigación que indique alguna posibilidad de tales fallas por el uso de ganchos normales ACI en el concreto, dentro del intervalo práctico de resistencias en toda la larga historia de la construcción, durante la cual se establecieron los radios actuales de doblado.

Existen algunos datos sobre una investigación reciente que se apoya en la posibilidad de ocurrencia de microgrietas invisibles y ductilidad.

Las varillas de refuerzo para ejes bajo la especificación A617-78, se ofrecen en tamaños del #3 al #11 solamente, y en los grados 40 y 60. Aparte de las pruebas de doblado del ACI, no hay otro requisito adicional que imponga el código que no sea requerido en la especificación A617-78.

Las varillas de refuerzo de acero para rieles se ofrecen bajo las especificaciones A616-78 en tamaños del #3 al #11 solamente y en los grados 50 y 60. Los requisitos de prueba de doblado de la ASTM para estas varillas no son tan estrictos como los de las varillas de refuerzo de acero de lingote o de acero para ejes.

Las varillas de refuerzo de lingote se ofrecen comúnmente en tamaños del 3 al 18 en el grado estándar 60 y en tamaños de 3 al 6 en grado 40. Los tamaños de 7 al 11 en grado 40 se incluyen en las especificaciones A615-78^a, pero se advierte a los usuarios que estos no se consiguen con facilidad.

El código requiere que, si se van a doblar varillas de refuerzo de #14 ó de #18, estas deben doblarse a 90 grados, a una temperatura mínima de 60 grados F, en torno a un perno cuyo diámetro sea 10 veces el de la varilla, sin que el eje de la varilla se agriete transversalmente.

Las especificaciones para las varillas de refuerzo de acero de bajo contenido de aleación, A706-78, satisfacen o sobrepasan todos los requisitos del código para el concreto armado ordinario.

Esta especificación incluido los tamaños de 3 al 18, satisface también todos los requisitos particulares especificados comúnmente para usarse en marcos dúctiles resistentes a sismos, así como los requisitos para soldadura en campo, sin precalentamiento en condiciones usuales. De nuevo se aconseja tomar la precaución de verificar la disponibilidad, en particular si se trata de pedidos pequeños, en vista de que no hay en existencia esta varilla de refuerzo de calidad especial, pero se puede producir como lote de estirado especial cuando la cantidad del pedido lo justifica.

Un requisito adicional del código, el cual es más restrictivo que algunas especificaciones de la ASTM para pruebas de tensión en todas las varillas de refuerzo, es que la determinación de la resistencia a la fluencia y a la tensión “deben corresponder a las determinadas por pruebas efectuadas en varillas de tamaño natural”.

Las especificaciones de la ASTM para varillas de refuerzo de acero de lingote permiten hacer pruebas de tensión en:

1. varillas de tamaño natural para una longitud calibrada de 8 pulgadas .
2. probetas maquinadas de 1.128pulg. de diámetro para una longitud calibrada de 8pulgadas, en varillas de los números 11, 14 y 18 en grado 60.

No existen datos completos que se hayan publicado sobre pruebas paralelas para los dos tipos de probetas, a partir de los cuales se puedan hacer correlaciones estadísticas confiables.

Los resultados de una serie de pruebas piloto en las que se comparan las propiedades de la tensión en diversos tipos de probetas hechas con las mismas varillas indican resistencias medias un tanto más altas (3 a 5%) para las probetas maquinadas, que para las varillas de tamaño natural. Sin embargo, el intervalo de variaciones es bastante grande, probablemente porque se elimina el efecto variable elevador de esfuerzo de las corrugaciones de las varillas en las probetas maquinadas.

III. EMPALMES

Generalidades

En el refuerzo sólo se deben hacer empalmes cuando lo requieran o permitan los planos de diseño, o si lo autoriza el ingeniero delegado.

Para las varillas mayores que el #11 no se debe utilizar traslapes, excepto cuando lo indique la sección 12.16.2 y 15.8.2.4 del ACI.

Un empalme transfiere la fuerza de una varilla a otra a través del concreto que rodea ambas varillas.

En cualquier punto a lo largo de un empalme, se transfieren las fuerzas desde una varilla por adherencia al concreto que lo rodea y simultáneamente, también por adherencia, a la otra varilla que forma el par de empalme.

En el concreto, estas fuerzas pueden generar esfuerzos cortantes elevados, al igual que las fuerzas de fisuración.

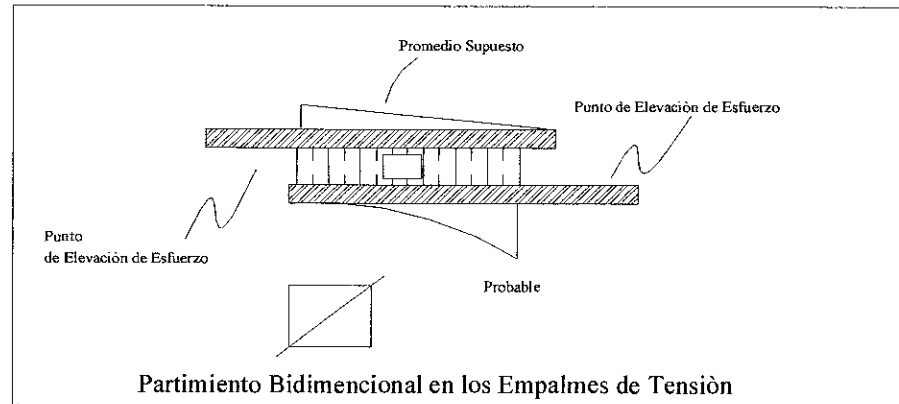
La integridad de un empalme depende del desarrollo de adherencia adecuada, a lo largo de las superficies de la varilla, y de la característica del concreto alrededor de las dos varillas de transmitir cortante sin desintegración o deformación excesiva.

Los empalmes se tratan como una condición especial de transmisión de esfuerzo, en cada extremo cortado se desarrolla una discontinuidad natural, la cual es en cierta forma útil en un empalme en áreas en compresión.

Por el contrario, representa un elevador de esfuerzo definitivamente perjudicial en los empalmes en áreas a tensión, perjudiciales en especial para resistencia a la fatiga por inversiones de esfuerzo repetitivas.

El efecto de ruptura o partimiento de la transmisión de esfuerzo mediante corte al concreto se agrava en un empalme a traslape, en vista de que se transmiten dos fuerzas de tensión en oposición (ver figura No. 1)

FIGURA No.1



El comportamiento del concreto en la proximidad de un empalme merece un estudio más extenso.

A. Empalmes a tensión

El peligro de que el concreto se fisure es mayor en la proximidad de los empalmes a tensión .

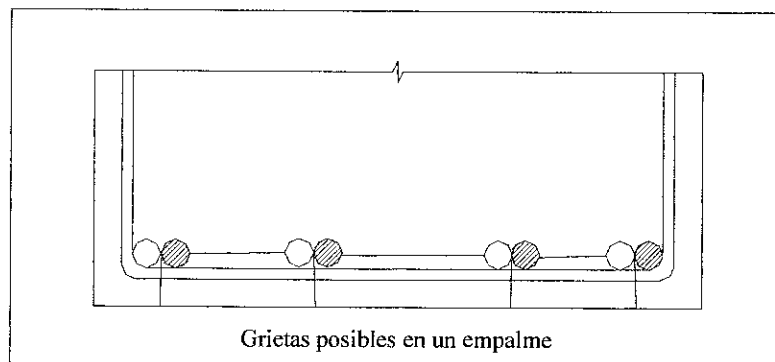
Dos varillas empalmadas generan compresión diagonal en el espacio entre ellas, de manera que se requiere una fuerza de agarre para impedir una separación posible. El efecto de cuña de cada una de las dos varillas empalmadas puede conducir a una grieta de división, a lo largo de una línea que pasa a través de los centros de las varillas (ver figura No.2).

Es evidente que sólo las ramas exteriores del estribo ofrecen resistencia contra la separación del estrecho bloque de concreto por debajo del refuerzo.

La rama horizontal de un estribo es efectiva para controlar la abertura de las grietas longitudinales (grietas verticales en la figura No. 2) originada por la combinación de efectos cortantes, de tensión diagonal y de cuña.

Ya que los extremos libres de las varillas empalmadas son fuentes de discontinuidad, actúan como iniciadores de grietas a través de una zona en tensión. Esta grieta transversal a su vez inicia las grietas de rajadura.

FIGURA No.2



Durante las pruebas se puede medir el aumento de la dimensiones seccionales de un miembro, tal como la distancia A-B de la figura 2, con instrumentos adecuados mientras procede la carga. Un aumento repentino en la dimensiones de la sección indica el inicio de la rajadura a lo largo de las varillas empalmadas.

Los traslapes sujetos a tensión se clasifican como tipo A, B y C, en los cuales la longitud de traslape es un múltiplo de la longitud de desarrollo en tensión L_d .

La longitud mínima de empalme en tensión será conforme a los requisitos de empalmes clases A, B o C, pero no menos de 30cm., donde:

Empalme clase A.....	1.0 L_d
Empalme clase B.....	1.3 L_d
Empalme clase C.....	1.7 L_d

Donde, L_d es la longitud de desarrollo por tensión para la resistencia a la fluencia.

Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 longitudes de empalme traslapado de tensión para diversas condiciones.

TABLA No.1

LONGITUDES DE EMPALME A TRASLAPE DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)									
TAMAÑO DE VARILLA	F= 3,000			F= 4,000			F= 5,000		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#3	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#4	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#5	15	20	26	15	20	26	15	20	26
#6	19	25	38	18	24	31	18	24	31
#7	26	34	45	23	30	39	21	27	36
#8	35	45	59	30	39	51	27	35	46
#9	44	57	74	38	49	65	34	44	58
#10	56	72	95	48	63	82	43	56	73
#11	68	89	116	59	77	101	53	69	90

TABLA No.2

EMPALMES TRASLAPADOS DE TENSION PARA VARILLAS SUPERIORES, GRADO 60									
LONGITUDES DE EMPALMES Y TRASLAPES DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)									
Tamaño de Varilla	F= 3,000			F= 4,000			F= 5,000		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#1	12	16	21	12	16	21	12	16	21
#2	17	22	29	17	22	29	17	22	29
#3	21	27	36	21	27	36	21	27	36
#4	27	35	40	25	33	43	25	33	43
#5	38	48	63	32	41	54	29	38	50
#6	48	63	82	42	55	71	38	49	64
#7	61	80	104	53	69	90	48	62	81
#8	78	101	132	67	88	115	60	78	103
#9	96	124	163	83	108	141	74	96	126

NOTA: para concreto de peso normal.

1.- Para uso general de donde la separación de varillas es menor de 6 pulg. Y el recubrimiento lateral en el plano de las varillas es menor de 3 pulg.

2.- Las varillas superiores son varillas horizontales con mas de 12 pulg. de concreto vaciado abajo del refuerzo (seccion 12.2.4). Se sugiere no considerar como varillas superiores a las varillas horizontales multiples situadas en un solo plano vertical. Tales como los estribos de columnas o las varillas horizontales que llevan los muros. (comentario 12.2.4).

TABLA No.3

EMPALMES TRASLAPADOS DE TENSIÓN PARA VARILLAS SUPERIORES, GRADO 60 > 6 pulg.

LONGITUDES DE EMPALMES Y TRASLAPES DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)									
Tamaño de Varilla	F= 3,000			F= 4,000			F= 5,000		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#3	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#4	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#5	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#6	15	20	26	14	18	24	14	18	24
#7	21	27	36	18	24	31	17	22	29
#8	28	37	48	24	31	41	22	29	32
#9	36	46	60	30	39	51	27	35	46
#10	45	59	77	38	50	65	34	44	58
#11	54	70	92	47	61	80	42	55	71

NOTA: para concreto de peso normal.

Para uso general de donde los empalmes estén espaciados a 6 pulg. o más. Y el recubrimiento lateral que sea de 3 pulg. o más.

TABLA No.4

EMPALMES TRASLAPADOS DE TENSIÓN PARA VARILLAS SUPERIORES, GRADO 60 > 6 pulg.

LONGITUDES DE EMPALMES Y TRASLAPES DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)									
Tamaño de Varilla	f= 3,000 lbs/pulg			f= 4,000 lbs/pulg			f= 5,000 lbs/pulg		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#3	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#4	14	18	24	14	18	24	14	18	24
#5	17	22	29	17	22	29	17	22	29
#6	22	29	37	20	26	34	20	26	34
#7	30	39	51	26	34	44	23	30	39
#8	38	49	65	34	44	58	30	39	51
#9	49	64	83	42	55	71	38	49	65
#10	62	81	105	54	70	92	48	62	82
#11	77	100	131	66	86	112	59	77	100

NOTA: para concreto de peso normal.

1.- Para uso general en donde la separación entre varillas es menor de 6 pulg. Y el recubrimiento lateral en el plano de las varillas es menor de 3 pulg.

2.- Las varillas superiores son varillas horizontales con más de 12 pulg. De concreto vaciado abajo del refuerzo (comentario 12.2.4). Se sugiere no considerar como varillas superiores las varillas horizontales múltiples en un solo plano vertical. Tales como los estribos de columnas o las varillas que llevan los muros (comentario 12.2.4).

TABLA No.5

EMPALMES TRASLAPADOS DE TENSIÓN PARA VARILLAS, GRADO 60 > 6 pulg.

LONGITUDES DE EMPALMES Y TRASLAPES DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)												
f= 3,000 lbs/pulg ²				f= 4,000 lbs/pulg ²			f= 5,000 lbs/pulg ²			f= 6,000 lbs/pulg ²		
Tamaño de Varilla	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#5	12	16	20	12	16	20	12	16	20	12	16	20
#6	15	20	26	14	18	24	14	18	24	14	18	24
#7	21	27	36	18	24	31	17	22	29	17	22	29
#8	28	36	48	24	31	41	22	29	37	20	26	34
#9	35	46	60	30	39	51	27	35	46	25	33	43
#10	45	59	77	38	50	65	34	44	58	31	40	53
#11	54	70	92	47	61	80	42	55	71	38	49	65

NOTA: para concreto de peso normal.

1.- Aplicable cuando las empalmes están espaciadas a 6 pulg. O más y cuando el recubrimiento sea menor de 3 pulg. Y contenga estribos.

2.- En columnas standar de espiral se pueden reducir 25%.

TABLA No.6

EMPALMES TRASLAPADOS DE TENSIÓN PARA VARILLAS, GRADO 60 > 6 pulg.

LONGITUDES DE EMPALMES Y TRASLAPES DE LAS CLASES A, B Y C (PULGADAS)												
f= 3,000 lbs/pulg ²				f= 4,000 lbs/pulg ²			f= 5,000 lbs/pulg ²			f= 6,000 lbs/pulg ²		
Tamaño de Varilla	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
#5	15	26	26	15	20	26	15	20	26	15	20	26
#6	19	25	32	18	23	31	18	23	31	18	23	31
#7	26	34	44	23	30	39	21	29	36	21	29	36
#8	33	46	60	30	39	51	27	35	46	25	33	43
#9	44	57	75	38	49	65	34	44	58	31	40	53
#10	56	73	95	48	62	82	43	56	73	39	51	66
#11	68	88	116	59	77	100	42	69	90	48	62	82

NOTA: para concreto de peso normal.

En columnas estandar de espiral estas longitudes se pueden reducir un 25%

En un traslape, cada una de las varillas debe desarrollar su esfuerzo de fluencia en la longitud de traslape.

El comportamiento del elemento con traslapes a tensión es el siguiente.

En las secciones de corte de varillas se forma un agrietamiento prematuro por flexión.

Debido a la discontinuidad de esfuerzos a partir de las grietas de flexión situadas en los extremos del traslape se desarrollan grietas longitudinales de adherencia que se propagan hacia la parte central del traslape hasta juntarse.

Al mismo tiempo, se forman nuevas grietas de flexión dentro de la longitud del traslape. Una vez unidas las grietas longitudinales ocurre una falla frágil.

B. Empalmes a compresión

La transmisión de fuerzas a compresión mediante el empalme de varillas de refuerzo ha recibido menos atención que el caso a tensión.

La longitud del empalme a compresión se puede especificar en términos de un esfuerzo "u" aceptable de adherencia (ecuación Ec.-2) o en términos de la longitud L_d de desarrollo.

Debido a las mejores condiciones de adherencia para las varillas en compresión, los códigos permiten mayores esfuerzos de adherencia y longitudes correspondientes menores de desarrollo para estas varillas que para las sujetas a tensión.

En las columnas cargadas axialmente, el esfuerzo transversal que consiste en estribos, aros o espirales, proporciona protección extra contra la rajadura a lo largo de un empalme, propiedad que reconocen los códigos.

Debido a que el agrietamiento transversal no ocurre en zonas a compresión, también está ausente el efecto dañino de esas grietas para iniciar la rajadura.

La principal diferencia entre un empalme a tensión y otro a compresión, proviene de la habilidad de las varillas en un empalme a compresión de transferir la carga directamente al concreto mediante apoyo de extremo.

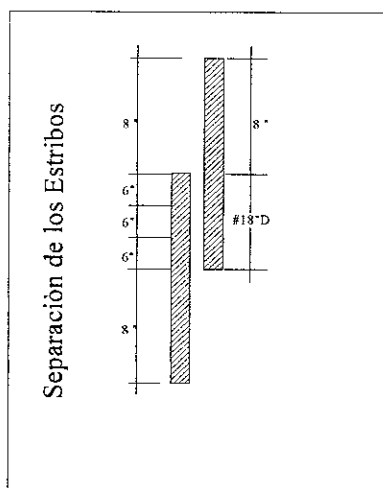
En las pruebas realizadas por Pfister y Mattock, se lograron esfuerzos de apoyo iguales a 5 veces la resistencia del cilindro de concreto, en los extremos a escuadra de las varillas en los empalmes a compresión.

Los siguientes factores que afectan el comportamiento de los empalmes a compresión se han revelado en experimentos recientes, realizados en el instituto Otto Graf de la Universidad de Stuttgart.

1. Se encontró que el apoyo de extremo es causa de la mayoría de las fallas de los empalmes, sin importar la longitud de empalme utilizada. Las longitudes de los empalmes en las pruebas variaron entre 9 y 38 veces el diámetro de las varillas.

Cuando se aumenta el tamaño de las varillas, el aplastamiento del concreto en los extremos de las varillas se torna especialmente severo.

FIGURA No.3



En la figura No.3 se muestra un ejemplo típico de falla de apoyo de extremo.

2. La presencia de esfuerzo de confinamiento aumenta la capacidad de apoyo del concreto en los extremos cortados de las varillas de las columnas, con ello se impide la dilatación lateral del concreto en esas áreas.

En tales condiciones, se midieron esfuerzos de apoyo del concreto de orden 17,000 lb/pulg² (120N/mm²).

3. Un aumento en el espesor del recubrimiento de concreto sobre un empalme a compresión produjo una mejoría insignificante.
4. Cuando se empalman varillas de columna de diámetro menor a 0.55 pulgadas (14mm) no es probable que el apoyo de extremo influya en el comportamiento, y es probable que el refuerzo transversal estándar utilizado fuera del área de empalme también sea adecuado en el mismo.
5. Bajo cargas a largo plazo, la presión de apoyo bajo los extremos de la varilla disminuye, debido al flujo plástico, en consecuencia, mejora el comportamiento del empalme.

Es posible transferir directamente las fuerzas de compresión en las varillas de acero de varilla a varilla, mediante apoyo de extremo.

La única manera de utilizar la transferencia de fuerzas mediante apoyo de extremo es cuando el diseñador tiene la seguridad de que la combinación más adversa de cargas, jamás se requiere que las varillas transmitan tensión. En tales casos es necesario obtener extremos cortados a escuadra o acerrados, de manera que las varillas en contacto puedan apoyarse uniformemente entre sí. Sin embargo, los experimentos indican que las pequeñas inexactitudes en los apoyos de los extremos cortados de las varillas no perjudiciales. El código del ACI permite una desviación máxima de 1.5 grados con respecto a un ángulo recto en las superficies de los extremos de las varillas. Esto quiere decir que en vez de un apoyo perfectamente uniforme, todavía es aceptable un ángulo de 3 grados entre las superficies en contacto de los extremos de las varillas. Sin embargo, se debe mantener firmemente en su posición a las varillas en relación mutua mediante una manga adecuada u otro dispositivo.

En las pruebas realizadas en la Universidad de Stuttgart, se encontró que la transmisión de fuerza de compresión mediante apoyo de extremos en contacto era superior a los empalmes a compresión en todo caso, incluso sin utilizar estribos adicionales en el empalme.

C. Empalmes mecánicos o de contacto

Es evidente que el eslabón más débil en un empalme es el concreto entre las varillas. Cuando se requiere que se transfiera toda la resistencia de las varillas, la longitud del empalme (que es igual a/o mayor que la longitud "L_d" de desarrollo) puede ser grande. Cuando se requiere una cantidad apreciable de refuerzo en un miembro y se utilizan varillas de tamaño grande, se puede necesitar una cantidad apreciable de acero para satisfacer sus requerimientos.

Por ejemplo, los empalmes pueden extenderse más un tercio de la altura de una columna en un marco de plantas múltiples de concreto reforzado.

Todavía más, los empalmes pueden producir congestión o aglomeración de acero en un elemento reforzado pudiendo interferir esto con la compactación adecuada del concreto.

Para superar estas dificultades, se han empleado métodos que permiten la transferencia de las fuerzas de tensión o compresión, directamente de varilla a varilla, sin la ayuda del concreto.

Se ha utilizado mucho la soldadura a tope de dos varillas, o sea la unión de extremo a extremo mediante la soldadura eléctrica.

Recientemente se ha desarrollado un proceso de soldadura mediante presión de gas, en el que se oprimen entre sí los extremos de las varillas calentados a la temperatura correcta. Así se logra la fusión mientras se forma un bulbo en la sección de contacto.

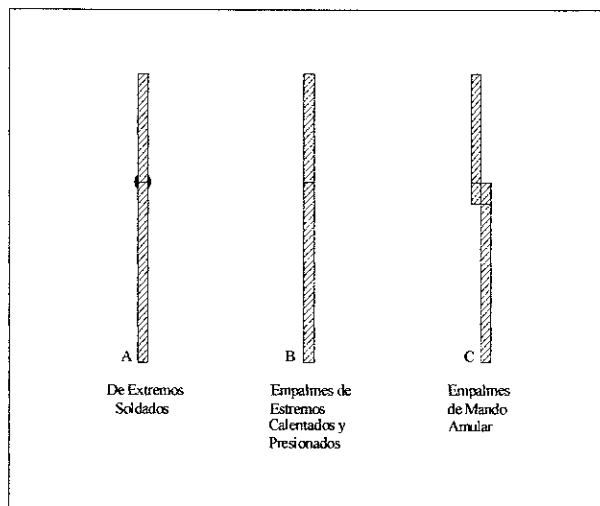
Para las varillas corrugadas, se dispone de una técnica de empalme mecánico que comprende una manga anular que se presiona en frío contra las varillas, con lo cual se obliga a las costillas de la varilla corrugada a ahogarse en el espesor de la pared de la manga.

Con corrugación adecuada de la varilla puede bastar una longitud de ahogamiento de manga de apenas 2db, para cada una de las dos varillas y así transmitir la carga de ruptura de la varilla en tensión.

Otro dispositivo de empalme consiste en una manga anular algo mayor que las varillas, colocada alrededor de ambas. Se emplea un proceso térmico para llenar el espacio entre la manga y las varillas corrugadas con un compuesto metálico. Las técnicas en las que se utiliza una manga de acero son especialmente útiles cuando se debe empalmar un refuerzo de alta resistencia, debido a que la soldadura de las varillas puede producir fragilidad.

Los dispositivos de empalme mecánico deben estar sujetos a rigurosos procedimientos de pruebas, antes de que se adopten para utilizarse en la estructura.

FIGURA No.4



IV. ANCLAJES

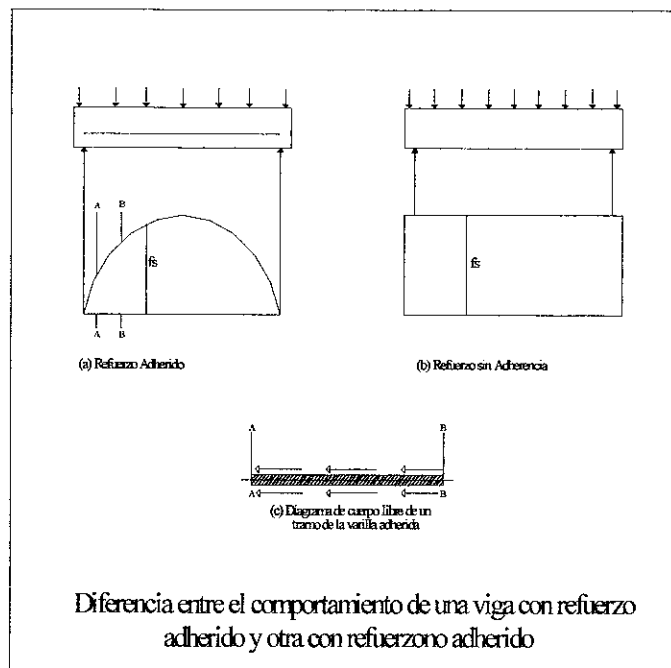
Existen principalmente dos sistemas de anclaje del refuerzo de acero a una masa de concreto, los cuales son:

- A. Ganchos
- B. Dobles

En un elemento de concreto reforzado es necesario que exista adherencia entre el concreto y las varillas de refuerzo, de manera que ambos materiales estén íntimamente ligados entre sí.

En la figura No.5 se ilustra la diferencia entre el comportamiento entre una viga con refuerzo adherido y otra en la que el refuerzo se encuentra libre dentro de la masa de concreto.

FIGURA No.5



En el primer caso Fig. 5a., los esfuerzos en el refuerzo varían a lo largo del elemento, ya que son prácticamente proporcionales a la longitud del elemento flexionante.

En cambio, en el segundo caso Fig. 5b. los esfuerzos en el refuerzo son constantes a lo largo del claro ya que como las varillas están libres, el elemento se comporta como un arco atirantado y no como una viga. En este caso es necesario anclar mecánicamente las varillas en los extremos del elemento, por medio de placas u otros dispositivos adecuados.

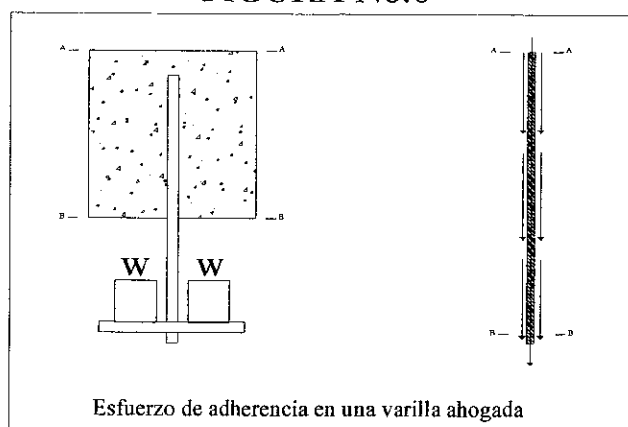
Se sabe que, en estructuras con refuerzo adherido, los esfuerzos varían a lo largo de las varillas de refuerzo. Para que pueda ocurrir esta variación, es necesario que se transmitan esfuerzos del refuerzo al concreto, como puede verse si se analiza un diagrama de cuerpo libre de la varilla.

Por ejemplo, en la figura 5c. se muestra el diagrama de cuerpo libre de un tramo de la varilla adherida de la figura 5a. La fuerza de tensión en el extremo de la derecha es mayor que en el extremo de la izquierda, porque el momento flexionante es mayor. Para que la varilla esté en equilibrio, debe existir una fuerza de adherencia a su alrededor que es producida por esfuerzos de adherencia, o, entre el concreto y el acero.

En lo que sigue se supone que los esfuerzos de adherencia son esfuerzos por unidad de superficie de la varilla.

Los esfuerzos de adherencia se desarrollan siempre que existe una diferencia de tensión entre dos secciones de una varilla de refuerzo.

FIGURA No.6



En la figura No.6 se muestra una varilla que está ahogada en una masa de concreto y soporta un peso en su extremo libre.

En la sección A-A la fuerza de tensión en la varilla es nula, por ser un extremo libre, mientras que en la sección B-B la fuerza de tensión es igual al peso que cuelga de la varilla.

La adherencia o resistencia al deslizamiento del refuerzo tiene su origen en los fenómenos siguientes:

1. Adhesión de naturaleza química entre el acero y el concreto.
2. Fricción entre la varilla y el concreto, que se desarrolla al tender a deslizar la primera.
3. Apoyo directo de las corrugaciones de la varilla contra el concreto que le rodea.

En varillas lisas solo existen los dos primeros fenómenos. Como su aportación a la resistencia al deslizamiento es mucho menos que la debida al apoyo de las corrugaciones sobre el concreto, la adherencia era con frecuencia un factor crítico en el diseño cuando se usaban varillas lisas.

Con las varillas corrugadas, el problema de la adherencia ha dejado de ser crítico, ya que el diseño está regido por flexión o por tensión diagonal, en la mayoría de los casos.

Una varilla se debe extender a una distancia L_d más allá de cualquier sección a la que se requiera para desarrollar una fuerza dada, en donde se requiere la distancia L_d para transmitir la fuerza de la varilla al concreto por adherencia.

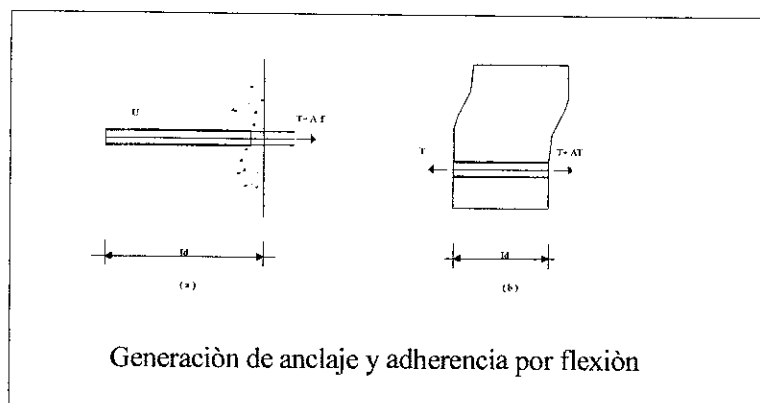
Si se especifica el esfuerzo "u" de adherencia promedio, que se supone que está distribuido uniformemente en toda su longitud, entonces las consideraciones de equilibrio (ecuación Ec.1) rinden la siguiente relación:

$$T = A_b f_s = U \quad o \quad L_d$$

En consecuencia, la longitud de desarrollo queda como (ecuación Ec.2).

$$L_d = (d_b / 4 U) f_s$$

FIGURA No.7



1. Generación de anclaje y adherencia por flexión.

En la figura No.7 se muestra la generación de anclaje y adherencia por flexión.

Algunos códigos especifican valores de seguridad para el esfuerzo "u" de adherencia por anclaje, lo que permite que la longitud de desarrollo se calcule a partir de la ecuación No2.

El código ACI prescribe la longitud L_d mínima de desarrollo para distintos casos de diseño determinados por la fórmula Ec.3.

$$L_d = (mf) (0.04 A_b f_y) / (v f_c)$$

2. 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 se basa en que la varilla se extiende en el concreto a una distancia suficientemente más allá de la misma sección.

Se le conoce como longitud de anclaje o longitud de desarrollo, a la longitud de la varilla más allá de la sección requerida para desarrollar su resistencia. 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 recto, por esta razón, se debe dar una tolerancia liberal.

La longitud L_d de desarrollo es directamente proporcional a la fuerza que se debe desarrollar, e inversamente proporcional a la resistencia a la tensión del concreto. Para varillas corrugadas No.5 (16mm. de diámetro) al No.11 (35.8mm. de diámetro) en tensión, el código ACI indica que:

Todas las unidades están en libras y en pulgadas, el factor de modificación o de juicio "mf" toma en cuenta:

- a. El efecto adverso de las varillas en posición superior L_d se aumenta en un 40%, en el caso de varillas con más de 12 pulg. (305mm.) de concreto colado por debajo de las varillas.
- b. La mayor resistencia a ceder del acero superior es de 60,000 lb./pulg² (414N/mm²).
- c. La resistencia reducida del concreto con agregado ligero.
- d. El efecto del recubrimiento y la separación lateral entre las varillas.
- e. El uso de refuerzo de flexión excesivo en una sección.
- f. El efecto del refuerzo elicoidal (L_d se reduce en un 25% si la varilla está encerrada en una hélice apropiada de acero).

Se hacen provisiones análogas para varillas muy grandes y varillas más pequeñas que el No.5 (15mm. de diámetro). Se pudo obtener la misma longitud de desarrollo (ecuación Ec.3) al utilizar la ecuación Ec.1 y especificar que:

$$U = 8 (v \ f \ c) / m \ f \ d_b (1_b / \text{pulg}^2)$$

3. Anclajes para varillas con compresión.

Los mecanismos por los cuales por los cuales se anclan las fuerzas en varillas a tensión y compresión difieren significativamente.

A lo largo de una varilla en compresión hay menos tendencia a que ocurran fisuras, y se puede transmitir parte de la fuerza de compresión hacia el concreto mediante apoyo de extremo.

Sin embargo, la única manera como se pueden desarrollar esfuerzos significativos de apoyo, en el extremo de una varilla cortada a escuadra, es cuando hay una masa suficiente de concreto detrás del extremo de la varilla.

Los códigos reconocen las mejores condiciones de desarrollo para las varillas en compresión y de acuerdo con ello, especifican longitudes mucho más cortas de desarrollo.

4. Ganchos y dobleces.

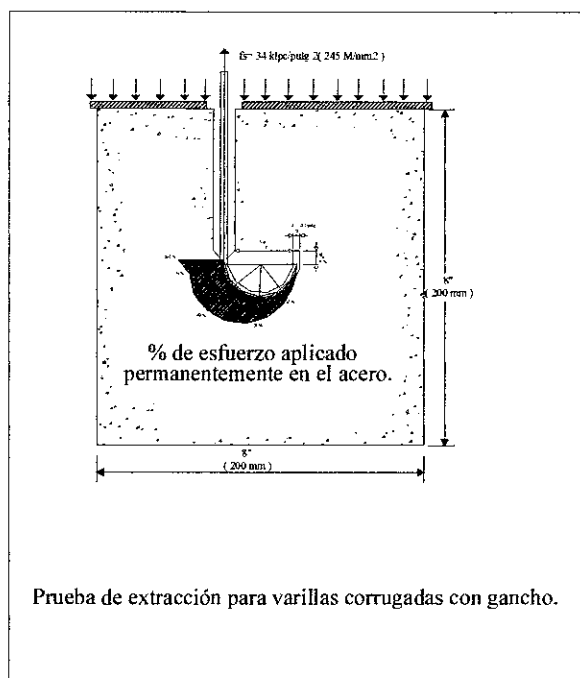
Los ganchos de extremo son vitales como parte del anclaje de tensión.

a. Anclajes de gancho para varillas con tensión. Cuando la longitud recta de una varilla disponible para el anclaje es insuficiente, se puede doblar el refuerzo o formar un gancho para ayudar al anclaje.

Los pioneros del concreto estructural reconocieron que los anclajes de gancho para las varillas redondas lisas tienen ventajas claras.

En las pruebas de extracción diseñadas específicamente para obtener la resistencia de anclaje de ganchos, se eliminó la adherencia a lo largo de la porción recta de la varilla frente al gancho (Ver figura No.8).

FIGURA No.8



Las relaciones de carga \rightarrow deslizamiento obtenidas de esas pruebas indican las cargas utilizables de anclaje disponibles en distintos tipos de ganchos.

El deslizamiento se mide en el punto en el que la varilla entra al concreto. Para varillas corrugadas la distribución de deformaciones en el acero, medida a lo largo del gancho en semejantes pruebas, revela que la fuerza de la varilla se transfiere rápidamente al concreto y que generalmente la porción recta que sigue al gancho es inefectiva.

Para varillas lisas, los esfuerzos de tensión se reducen más lentamente a lo largo del gancho; en consecuencia, se puede obtener resistencia adicional de anclaje si se extiende la porción recta de la varilla que sigue al gancho.

La resistencia útil de un gancho también está relacionada con un deslizamiento aceptable en el extremo cargado. Si no ocurre falla de figuración en el plano del gancho, el deslizamiento parece ser la norma.

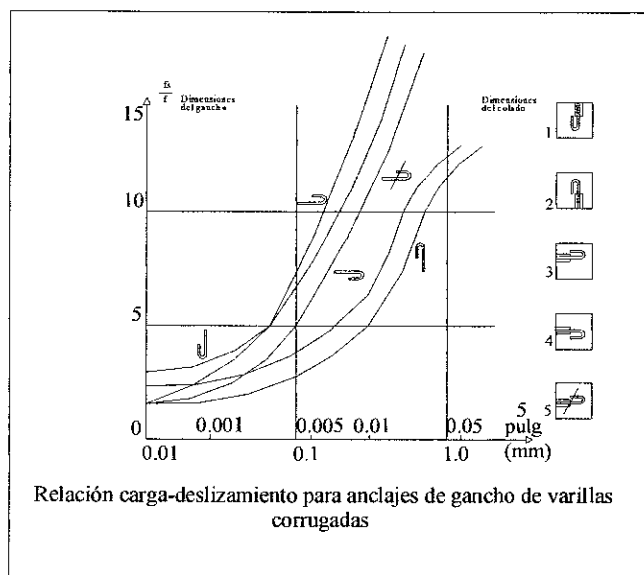
Para deslizamiento hasta de 0.001 pulg. (0.025mm.) se puede esperar una relación lineal entre la carga y el deslizamiento.

A un deslizamiento de 0.01 pulg. (0.25mm.) se puede hacer una comparación adecuada de la capacidad de carga de distintos tipos de anclaje con ganchos.

Los mayores esfuerzos de apoyo en el concreto se desarrollan a lo largo de la parte interior del gancho, cerca de la parte cargada de la varilla. En consecuencia, en estas áreas las propiedades del concreto que rodea a las varillas, tales como la porosidad y la resistencia, pueden afectar apreciablemente el deslizamiento para cualquier carga dada.

La figura No.9 muestra curvas típicas de carga → deslizamiento para ganchos a 180 grados, en distintas posiciones respecto al colado. La carga está expresada en términos de la razón f_s/f'_{cu} en la que f_s es el esfuerzo de tensión aplicado a la varilla frente al gancho y f'_{cu} es la resistencia del cubo de concreto que la rodea.

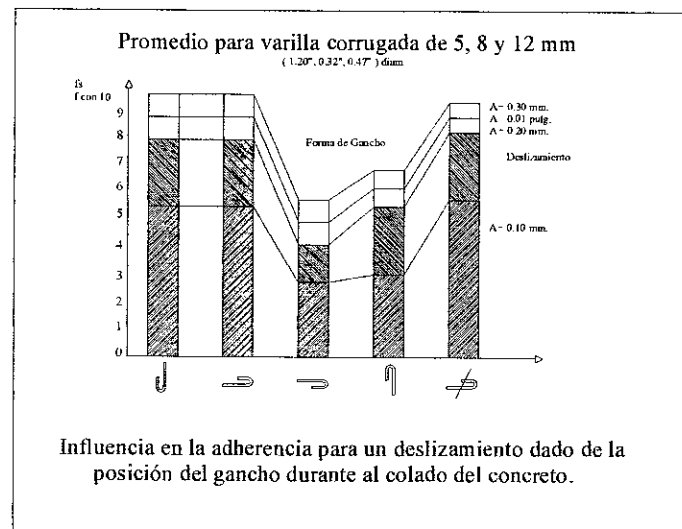
FIGURA No.9



Cada curva representa la medida de 6 a 35 pruebas. Debido a la calidad aleatoria de la calidad del concreto (por ejemplo el grado de ganancia de agua) bajo el área de apoyo crítico, se ha observado una dispersión considerable en esas pruebas. Sin embargo, es evidente el rendimiento inferior de las varillas en posición superior, tales como los tipos 2 y 4 de la figura No9.1.

En la figura No.10 se compara la capacidad promedio de anclaje de los ganchos en términos de f_s/f'_{cu} para tres distintos tamaños de varillas con distintos deslizamientos.

FIGURA No.10



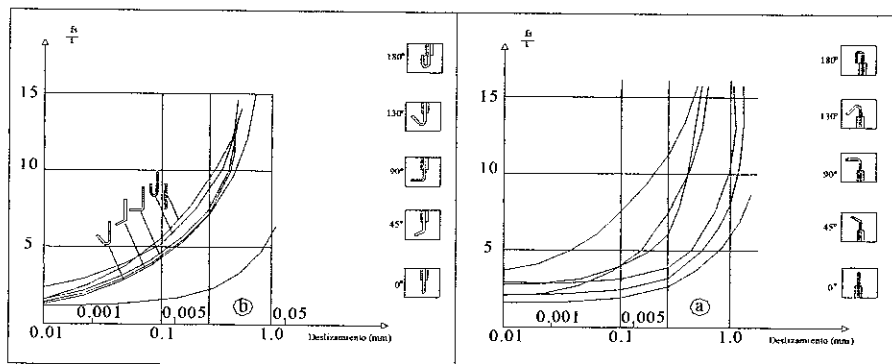
Para las pruebas ilustradas en las figuras 5 y 6 se utilizaron varillas corrugadas.

Las pruebas de extracción de Rehm de anclajes enganchados también demostraron que un doblez, con una vuelta de menos de 180 grados, no proporciona un anclaje superior con respecto a una varilla recta de la misma longitud.

Cuando se aprecia que un doblez introduce concentraciones de esfuerzos y consecuentemente grandes deformaciones locales en el concreto, que a su vez conducen a mayor deslizamiento en el extremo cargado de una varilla doblada empotrada, la varilla vertical recta puede proporcionar el mejor rendimiento para la misma longitud de la varilla empotrada.

La figura No.10.a , en la que se comparan varillas con distintos ángulos de doblez, pero con longitudes idénticas empotradas (es decir 10 diámetros de varillas), ilustra esta observación.

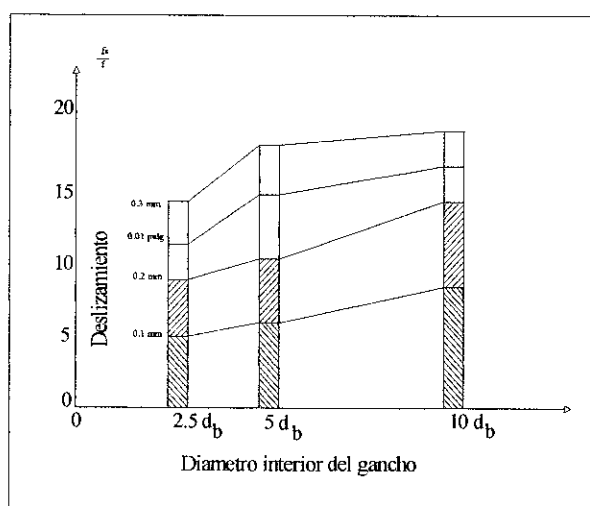
FIGURA No.11



Las diferencias en el rendimiento entre distintos ángulos de doblez se hacen menos significativas cuando el jalón en la varillas es contra la dirección del colado del concreto (véase figura No.10.b), ya que en este caso las varillas ancladas se apoyan contra el concreto que no está afectado por la ganancia de agua y la sedimentación.

Una menor cobertura de la varilla en un doblez o gancho significa menor concentración de cargas, y en consecuencia, un menor deslizamiento en el extremo cargado del anclaje. Por lo tanto, un gancho de diámetro grande transmite una carga mayor para un deslizamiento aceptable.

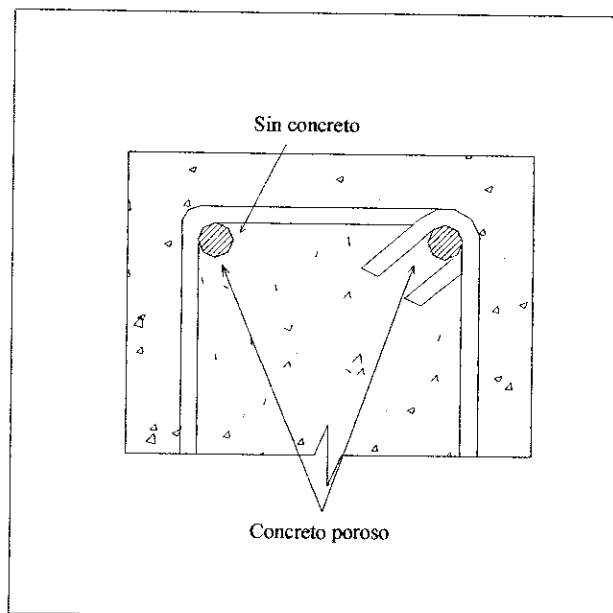
FIGURA No.12



Cuando se dobla una varilla alrededor de otra varilla transversal, como sucede en los ganchos de estribo, se pueden desarrollar esfuerzos de tensión de 10 a 30% mayores para la misma cantidad de deslizamiento. Sin embargo, este beneficio solo se puede obtener si existe contacto directo entre el gancho y la varilla transversal.

Bajo condiciones locales normales, no se puede asegurar el contacto entre los estribos y el refuerzo principal de la viga (véase figura No. 13). Además en la proximidad del punto de contacto entre el estribo y la varilla longitudinal, se puede esperar cierto deterioro en la calidad del concreto provocando por ejemplo falta de contacto con el acero y porosidad.

FIGURA No.13



Es probable que estos dos factores conduzcan a mayores deslizamientos aún con esfuerzos relativamente bajos en el estribo.

El efecto de este deslizamiento en el gancho, está directamente relacionado con las grietas diagonales y su efecto puede ser significativo sobre la resistencia al esfuerzo cortante que aportan los estribos, especialmente en las vigas con poco peralte.

Para un gancho del tipo mostrado en la figura No. 8, el diámetro de la varilla parece no influir en la relación esfuerzo \rightarrow deslizamiento del acero, hasta que se alcanza un deslizamiento de 0.02pulg. (0.5mm.). Para un deslizamiento dado en los tipos usuales de concreto, la capacidad del gancho es proporcional a la resistencia del concreto.

Los experimentos en la universidad técnica de Munich determinaron la siguiente relación:

$$f_s = k_n f_{cu}$$

En la que: f_s = esfuerzo del acero en el extremo cargado a un deslizamiento de 0.004pulg. (0.01mm.), K_h = resistencia a compresión del cubo de concreto, y f_{cu} = constante experimental dada en la tabla No.7.

TABLA No.7

Posición de los ganchos	Tipo	Varilla lisa	Varilla corrugada
Ganchos de eolada inferior	1,3	1.7	3.75
Ganchos de eolada superior	2,4	1.2	2.00

La resistencia a tensión del concreto puede limitar la capacidad de un gancho en la carga máxima, a menos que una compresión transversal o un esfuerzo de confinamiento apropiado impida una falla de fisuración en el plano del gancho.

Esta es la razón por la que el código ACI indica que la capacidad del gancho depende de la resistencia a tensión del concreto que lo rodea y considera que los ganchos estándar pueden anclar una varilla con un esfuerzo de tensión igual a K expresado en lb/pulg² (11lb./pulg.²=0.0689N/mm.²) según los valores de K dados en la tabla No.8.

Se puede aumentar en un 30% el valor de K cuando se proporciona un recubrimiento perpendicular al lado del gancho.

TABLA No.8

VARILLAS SUPERIORES		
Tamaño de Varilla (mm)	$f_v = 60 \text{ kip/plg}^2$ (414 N/mm ²)	$f_v = 40 \text{ kip/plg}^2$ (276 N/mm ²)
No. 18 (57)	220 (18.3)	220 (18.3)
No. 14 (43)	330 (27.4)	330 (27.4)
No.11 (36)	360 (29.9)	360 (29.9)
No. 10 (32)	360 (29.9)	360 (29.9)
No. 9 (29)	360 (29.9)	360 (29.9)
No. 8 (25)	360 (29.9)	360 (29.9)
No. 7 (22)	360 (29.9)	360 (29.9)
No. 6 (19)	450 (37.4)	360 (29.9)
No. 3 a 5	540 (44.8)	369 (29.9)

FIGURA No.14

GANCHOS ESTANDAR

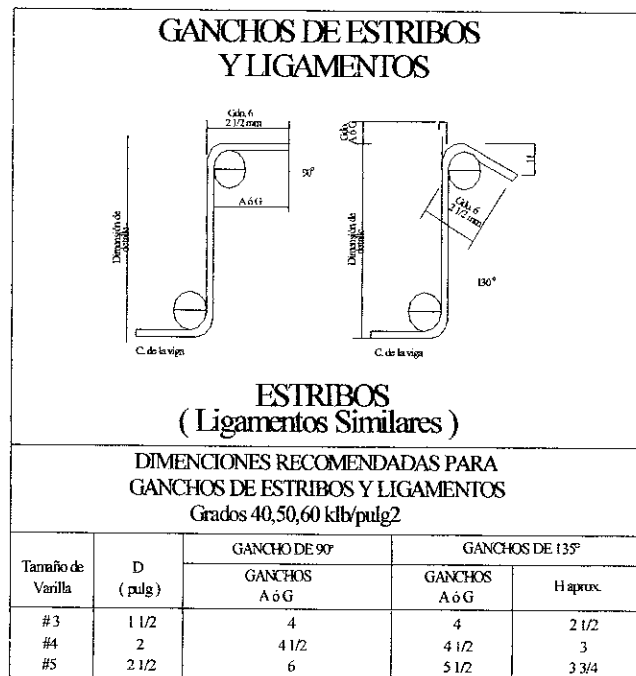
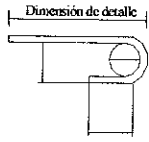
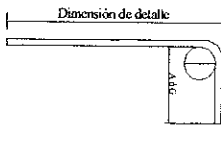


FIGURA No.15

GANCHO ESTANDAR DEL ACI					
					
TAMAÑO DE GANCHOS DE 180° Grados 50-90-75 klb/pulg ² D= 6d para #3 a #8 D= 3d para #9, #10 y #11 D= 10d para #14 y #18			TAMAÑO DE GANCHOS DE 90° Todos los grados D= 6d para #3 a #8 D= 3d para #9, #10 y #11 D= 10d para #14 y #18		
DIMENSIONES RECOMENDADAS DEL GANCHO EXTREMO					
Tamaño de Varilla	Tamaño de 180°				GANCHOS DE 90°
	Grados 50-90-75		Grados 40		Todos los Grados
	A ó G	J	A ó G	J	A ó G
#3	5	3	5	2 1/4	6
#4	6	4	6	3 1/2	8
#5	7	5	7	4 1/2	10
#6	8	6	8	5 1/4	10
#7	10	7	9	6 1/4	12
#8	11	8	10	7	14
#9	13	11 1/4	10	8	17
#10	15	10 3/4	11	9	110
#11	17	12 1/4	12	10	20
#14	22	18 1/2	22	18 1/4	27
#15	211	23	211	23	35

VI. RECUBRIMIENTOS

Los requisitos de código ACI en cuanto a recubrimientos del concreto, tiene como fin proporcionar protección al refuerzo en condiciones ordinarias de exposición y reunido en una sola sección denominada Sec.7.7.

Solo se han hecho cambios menores respecto a códigos anteriores. Excepto cuando se trata de formas de tierra en las que, 2 pulgadas corresponden al recubrimiento mínimo requerido. Con determinado tipo de formas de tierra se requiere de 3 pulgadas de recubrimiento para tener una tolerancia de 1 pulg. a cada lado de la excavación.

El recubrimiento libre especificado se mide hasta el refuerzo situado más al exterior (sección 7.7.1 del ACI) se trate de estribos o espirales o las varillas principales si no hay ninguno de los otros elementos. Para concreto precolado (sección 7.7.2 del ACI) o concreto presforzado (sección 7.7.3 del ACI) se dan requisitos separados, aplicables en forma simultánea y cualquiera de ello puede servir de control.

En el diseño de elementos precolados, vigas ordinarias, no es suficiente tener el recubrimiento mínimo sobre el acero situado más al exterior, más el diámetro del mismo, como recubrimiento para el refuerzo principal.

Por ejemplo, si una columna precolada contiene varillas verticales del #8 y estribo del #4, el recubrimiento sobre las varillas verticales es el que se debe controlar.

El recubrimiento mínimo sobre las varillas del #8 es igual a un diámetro de varilla o sea 1 pulgada. El recubrimiento mínimo sobre los estribos del #4 es igual a 3/8 de pulgada pero se debe emplear de 1/2 pulg. para proporcionar la pulgada de cubierta necesaria a las varillas verticales (sección 7.7.2 del ACI).

Debe observarse que el recubrimiento requerido para el concreto precolado o preesforzado es menor que el que se requiere para el concreto no presforzado, vaciado en su lugar.

Estas reducciones corresponden a la mayor exactitud que es posible lograr en la posición del refuerzo bajo el control en planta al hacerlo precolado, así como la mayor efectividad del recubrimiento cuando se trata de concreto presforzado, para mantener cerradas las grietas bajo carga muerta (tensión menor o igual a cero).

Esta disposición transmite la intención de que el recubrimiento mínimo prescrito se incremente en las situaciones en las que los reglamentos locales requieran de protección adicional en caso de incendio, o en donde los miembros estén expuestos a ambientes sumamente corrosivos. No se debe esperar que tales incrementos sean proporcionales a todos los límites de recubrimiento mínimo especificado.

Más allá de 2 pulg., los incrementos de espesor del recubrimiento no proporcionan incrementos proporcionales en cuanto a protección contra la penetración de líquidos o gases corrosivos. Al contrario, se requiere de un mejoramiento en la calidad del concreto mismo o del empleo de alguna otra protección.

Por ejemplo, para la retención de aguas negras, el recubrimiento prescrito de losas y muros para concreto vaciado en sitios (3/4 a 1 1/2 pulg.) se podría aumentar a 2 pulg.

Además es necesario usar una resistencia de concreto más alta que la requerida estructuralmente, o emplear cemento resistente a los sulfatos y atrapamiento de aire.

Los cementos patentados de "contracción controlada" han producido algo de construcción con marcada reducción en el agrietamiento causada por contracción.

El uso de concreto preparado con tales cementos no está regulado específicamente por el código ACI, pero es aceptable cuando rigen los requerimientos de funcionalidad.

A. Protección del concreto para el refuerzo

1. Concreto colado en obra (no presforzado) debe proporcionarse el siguiente recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo:

Recubrimiento
Mínimo en cm.

- a. Concreto colado en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él.....7.5
 - b. Concreto expuesto al suelo o a la acción del clima:
 - 1) Varillas de #6 al #18.....5.0
 - 2) Varillas del #5, alambre W31 o D31 Y menores.....4.0
 - c. Concreto no expuesto a la acción del clima, ni en contacto con el suelo:
 - 1) Losas, muros, nervaduras:
 - a) Varillas del #14 al #18.....4.0
 - b) Varillas del #11 y menores.....2.0
 - 2) Vigas y columnas:
 - a) Refuerzo principal, anillos, estribos, espirales.....4.0
 - 3) Cascarones y placas plegadas:
 - a) Varillas del #6 y mayores.....2.0
 - b) Varillas del #5, alambres W31 ó D31 y menores.....1.5
1. Concreto prefabricado (fabricado en condiciones de control en planta) debe proporcionarse un recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo:
- a. Concreto expuesto al suelo o a la acción del clima:
 - 1) Tableros para muros:
 - a) Varillas del #14 al #18.....4.0
 - b) Varillas del #11 y menores.....2.0
 - 2) Otros elementos:
 - a) Varillas del #14 al #18.....5.0
 - b) Varillas del #6 al #11.....4.0
 - c) Varillas del #5, alambre W31 ó D31 y menores.....3.0
 - b. Concreto no expuesto a la acción del clima: ni en contacto con el suelo:
 - 1) Losas, muros y nervaduras:
 - a) Varillas del #14 al #18.....3.0
 - b) Varillas del #11 y menores.....1.5

- 2) Vigas y columnas:
- a) Refuerzo principal.....db no < 1.5
ni > 4.0 cm
 - b) Anillos, estribos, espirales.....1.0
 - c) Cascarones y placas plegadas:
 - a. Varillas del #6 y mayores.....1.5
 - b. Varillas del #5, alambre W31 ó D31
y menores1.0

Se debe proporcionar el siguiente recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo presforzado, ductos y anclajes en los extremos.

- | | Recubrimiento
mínimo en cm. |
|--|--------------------------------|
| 1) Concreto colado en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él..... | 7.5 |
| 2) Concreto expuesto al suelo ó a la acción del clima: | |
| a) Tableros para muros, losas y nervaduras..... | 2.5 |
| b) Otros elementos..... | 4.0 |
| 3) Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo: | |
| a) Losas, muros y nervaduras..... | 2.0 |
| b) Vigas y columnas: | |
| a. Refuerzo principal..... | 4.0 |
| b. Anillos estribo y espirales..... | 2.5 |
| c. Varillas #5, alambre W31 ó D31
y menores..... | 1.0 |
| d. Otro tipo de refuerzo..... | db < 2.0 |

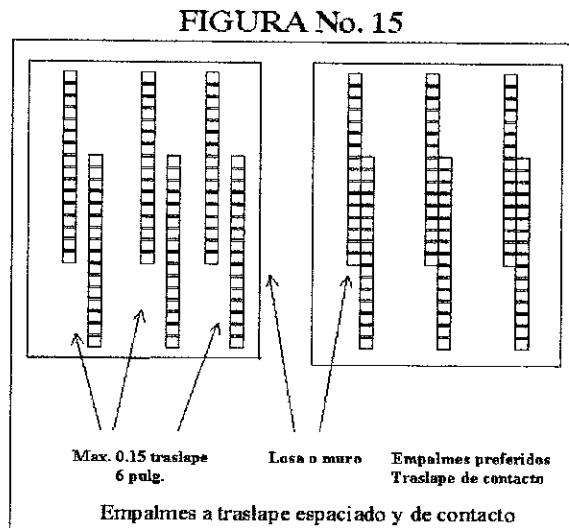
Cuando los refuerzos de tensión excedan a 1.6 (f_c para elementos de concreto presforzado expuestos a la acción del clima, al suelo o a un medio ambiente corrosivo, el recubrimiento mínimo del concreto deberá de aumentarse en un 50%)

VII. ESPACIAMIENTOS

La disposición más significativa del nuevo código ACI relativa al espaciamiento del refuerzo se ocupa de las varillas dispuestas en atados y de los empalmes a traslape que no hacen contacto.

Cuando las limitaciones de espaciamiento y recubrimiento están basadas en el tamaño de las varillas como una sola varilla de un diámetro derivado del área total equivalente del atado o haz, se alienta el uso de los empalmes a traslape con contacto.

Los empalmes a traslape sin contacto se limitan, de manera que el espaciamiento máximo transversal entre las varillas aisladas no exceda la quinta parte de la longitud requerida de traslape, ni de 6 pulg.



En miembros sujetos a flexión, el espaciamiento libre mínimo entre varillas es un diámetro de varilla, pero no menos de 1 pulg.. Para lechos paralelos, como el las vigas, las varillas del lecho superior se deben situar directamente arriba de las varillas del lecho inferior, pero a no menos de 1 pulg. de distancia libre arriba de dichas varillas.

En muros y losas de una dirección, la separación máxima entre varillas es de $3t$ (donde t = espesor del muro o losa) pero no debe de ser mayor de 18 pulg.. Para losas de dos direcciones, el espaciamiento de las varillas es $2t$ menor o igual a 18 pulg.

Se debe incorporar acero para resistir los esfuerzos por temperatura y por contracción respecto a las nervaduras, en las losas de los sistemas de losa y viga de nervadura de una dirección. El espaciamiento máximo es $5t$ menor o igual a 18 pulg. donde t = espesor de la losa superior.

En columnas, las varillas (o atados) verticales deben tener un espaciamiento libre no menor de $1 \frac{1}{2}$ diámetros de varilla, ni de $1 \frac{1}{2}$ pulg., lo que sea mayor.

Todos los espaciamientos mínimos entre varillas a los que se hizo referencia están condicionados al uso de concreto de tamaño nominal máximo, de agrado grueso no mayor de $\frac{3}{4}$ del espaciamiento libre mínimo.

La practica general para diseñar y detallar el refuerzo es emplear las separaciones entre varillas con reglamentación del tamaño del agregado prescrito, en la sección de concreto de las especificaciones del proyecto, adaptadas a los espaciamientos entre varillas.

El ingeniero puede hacer caso omiso de los límites máximos sobre el tamaño de los agregados, si logra una elasticidad y una consolidación adecuadas del concreto. De no ocurrir lo anterior, en todo caso se requiere hacer ajustes al concreto.

Los límites de distancia libre entre varillas han sido desarrollados a partir de una práctica satisfactoria a lo largo de muchos años, y permanecen esencialmente sin cambios en el reglamento de construcción del ACI.

Los límites mínimos se establecieron originalmente con el fin de permitir el flujo rápido del concreto dentro de los espacios comprendidos entre las varillas y las varillas y la formaleta, sin crear cavidades en forma de panal.

Esto se hace con el objeto de evitar la concentración de varillas en el mismo plano, lo que podría causar un agrietamiento por cortante o concentración.

El uso del diámetro "nominal" de las varillas para definir el espaciamiento mínimo permite un criterio uniforme para varillas de todos los tamaños.

Con base en los buenos resultados del uso de "paquetes" de varillas de tamaño estándar en trabes grandes y en pruebas de laboratorio de columnas con paquetes se incluyeron por primera vez las disposiciones para paquetes de varillas en la edición del reglamento ACI de 1963.

Las disposiciones actuales son fundamentalmente las mismas que las contenidas en el reglamento de 1963, con algunas revisiones que se hicieron para la edición de 1971.

La investigación sobre adherencia indica que el corte de las varillas de los paquetes debe ser escalonado. Los paquetes de varillas deben atarse, amarrarse con alambre o sujetarse, a fin de asegurar que permanezcan en posición vertical u horizontal.

Las recomendaciones de que con las varillas mayores a la #11 no se deben formar paquetes en vigas o trabes resulta práctica para elementos de tamaño que se utilizan en la construcción de edificios.

La frase del reglamento "los paquetes que actúan como una unidad" pretende evitar los paquetes de más de dos varillas en el mismo plano.

Las formas típicas de los paquetes son la triangular, la cuadrada o la hecha en forma de L para paquetes de tres o cuatro varillas.

Como precaución, los paquetes de más de una varillas colocados en el plano de flexión no deben doblarse ni utilizarse en forma de gancho. Cuando se requieran ganchos en los extremos, es preferible escalonarlos dentro de un paquete.

A. Cables o ductos de presfuerzo

Cuando los ductos para cables de postensado dentro de una viga estén colocados juntos verticalmente, deben tomarse precauciones para evitar que los cables se rompan a lo largo del ducto. La ubicación horizontal de los ductos debe permitir la colocación adecuada del concreto. Generalmente, un espaciamiento libre de $1 \frac{1}{3}$ veces el tamaño máximo del agregado grueso pero no menor de 2.5cm, ha probado ser satisfactorio. Cuando la concentración de cables o ductos tienda a crear un plano débil en el recubrimiento del concreto, debe proporcionarse refuerzo a fin de controlar el agrietamiento.

B. Límites para el espaciamiento

1. La separación libre entre varillas paralelas no debe ser menor que el db (diámetro de varilla) ni de 2.5cm.
2. Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las varillas de las capas superiores deben ponerse exactamente arriba de las que están en las capas inferiores, con una distancia libre entre ambas no menor de 2.5 cm.
3. Cuando hay elementos en compresión, reforzados con espirales o anillos, la distancia libre entre varillas longitudinales no será menor de 1.5db, ni de 4cm.
4. La limitación de distancia libre entre varillas también se aplica a la distancia libre entre un traslape y los traslapes o varillas adyacentes.
5. En muros y losas, excepto en las losas nervadas, la separación del refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de tres veces el espesor del muro o de la losa, ni de 45 cm.

C. Varillas unidas en forma de paquete

1. Las varillas paralelas armadas en paquetes, que actúan como una unidad, deben limitarse a cuatro varillas por paquete.
2. Los paquetes de varillas deben estar confinados por estribos o anillos.
3. En vigas o trabes, las varillas mayores del #11 no deben amarrarse en paquetes
4. En elementos sujetos a flexión cada una de las varillas de los paquetes que se cortan dentro del claro debe terminar en puntos distintos, separados una distancia por lo menos de 40db.

5. Cuando las limitaciones de espaciamento y recubrimiento mínimo de concreto se basan en el diámetro de las varillas deberá considerarse como una varilla sencilla de un diámetro equivalente al área total de las varillas del paquete.

D. Cables y ductos de refuerzo

1. La distancia libre entre los cables de presfuerzo en cada extremo no debe de ser menor de 4db para el alambre, ni de 3db para los torones.
- 2 .Los ductos de postensado se pueden agrupar si se demuestra que el concreto puede colarse satisfactoriamente y cuando se tomen medidas que eviten la rotura de los cables que se tensarán dentro del ducto.

VIII. CONCLUSIONES

Al elaborar el presente trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- A. Que un conocimiento amplio del comportamiento estructural se manifiesta en la presentación en los planos del refuerzo a utilizarse de una manera claramente detallada, razonada y eficiente del refuerzo a utilizarse.
- B. Sólo una estructura bien detallada puede lograr la calidad deseada de comportamiento, cuya predicción es el propósito de éste trabajo.
- C. No se puede menospreciar la importancia del detallado, en las estructuras especialmente en un país sísmico, como Guatemala.
- D. El extenso daño y el fallo en las construcciones en ciudades que sufren sismos intensos, como en nuestro país, se pueden atribuir directamente al detallado inferior al estándar. La destrucción debe servir como recordatorio de que el detallado bien hecho es de primordial importancia en el proceso de diseño de estructuras.

VIII BIBLIOGRAFIA

- A. Gonzales, O. 1975. Aspectos fundamentales del concreto reforzado. México, Limusa. 227 págs.
- B. Merritt, F. 1984. Manual del ingeniero civil. México, Mc Graw Hill. 1512 págs.
- C. _____;1990.Enciclopedia de la construcción. España, Océano. 1512 págs.
- D. Park, R. Paulay, T. 1988. Estructuras de concreto reforzado. México, Limusa. 796 págs.
- E. Rice, P. Edwards, H. 1988. Diseño estructural con normas del ACI. México, Limusa. 518 págs.
- F. Reglamentos de las construcciones de concreto reforzado ACI 318-83 y comentarios.