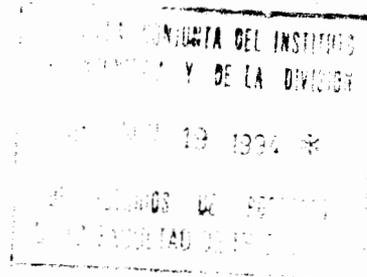


T R A B A J O D E I N V E S T I G A C I O N I

R E P O R T E



COPLES MECANICOS PARA ACERO DE REFUERZO

RAMIREZ CENTENO MARIO S.

E S T R U C T U R A S

D E P F I - U N A M

Ciudad Universitaria

Octubre 1990

COPLES MECANICOS PARA ACERO DE REFUERZO

INDICE

- 1- OBJETIVOS
- 2.- INTRODUCCION
- 3.-ANTECEDENTES
- 4.- DESCRIPCION DE LOS ENSAYES Y DE LOS ESPECIMENES
 - 4.1.-REGLAMENTACION
 - 4.2.-DESCRIPCION DE LOS ENSAYES
 - 4.3.-DESCRIPCION DE LOS ESPECIMENES
- 5.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYE
 - 5.1.-ENSAYE ESTATICO
 - 5.2.-ENSAYE CICLICO
- 6.- RESULTADOS DEL ENSAYE
 - 6.1.-ENSAYE ESTATICO
 - 6.2.-ENSAYE CICLICO
- 7.-ANALISIS DE LOS RESULTADOS
- 8.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- 9.-APENDICE
- 10.-BIBLIOGRAFIA

1.- OBJETIVOS

Este trabajo surge de la necesidad de estudiar un producto de mercado a fin de determinar sus características y compararlas con la normatividad existente.

1.1.- Describir los requerimientos de diseño que deben satisfacer las conexiones mecánicas de acuerdo a la reglamentación existente

1.2.-Desarrollar un estudio experimental que proporcione las características mecánicas de los conectores para acero de refuerzo marca RAMSA .

1.3.-Comparar las características obtenidas del estudio experimental con la reglamentación existente.

1.4.-Establecer un dictamen técnico sobre el comportamiento mecánico de la conexión, apoyado en los resultados obtenidos.

2.- I N T R O D U C C I O N

Los conectores mecánicos son dispositivos que permiten unir el acero de refuerzo y garantizar la continuidad estructural del mismo a lo largo de un elemento de concreto reforzado, constituyéndose junto con las uniones soldadas en las opciones más comunes que la práctica actual emplea para conectar las barras de refuerzo en el concreto.

El conocimiento, desarrollo y uso actual de los conectores mecánicos es escaso en México, debido al poco interés que los ingenieros estructuristas y constructores manifiestan por la utilización de estos dispositivos debido principalmente al desconocimiento del comportamiento mecánico de estas uniones.

Se hace notar la importancia del uso de los coples mecánicos para diámetros de barra grandes y principalmente cuando se utilizan en construcciones ubicadas en zonas sísmicas, como en el caso de la Ciudad de México donde se busca que el comportamiento mecánico del acero de refuerzo sea eficiente.

Es por ello que se ha considerado la necesidad de efectuar el presente trabajo sobre el estudio de las características de un tipo particular de conector, el cople marca RAMSA, colocado a presión , de fabricación nacional y con tecnología mexicana, y fomentar con ello el desarrollo de este tipo de tecnología en México. El método de conexión consiste en la compresión de un cople de acero cuyo diámetro interior es ligeramente mayor que el de la barra por unir. El extremo de una de ellas se introduce hasta la mitad del cople y se comprime en etapas mediante una prensa hidráulica , entonces el otro extremo se introduce en la zona restante, repitiéndose el proceso de compresión (Ver fotografías 1 a 10)

El trabajo consistió en efectuar una serie de ensayos sobre varios especímenes con diferentes diámetros y tipos de barra en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapozalco, de acuerdo con las especificaciones existentes. Los especímenes fueron fabricados por la compañía Industrial Acero Técnica S.A.

3.- ANTECEDENTES

En el diseño de estructuras de concreto es importante diseñar y especificar las uniones del acero de refuerzo. En la práctica actual, las uniones traslapadas son las más utilizadas, sin embargo cuando se presentan concentraciones del refuerzo en una zona del elemento o cuando tenemos diámetros de barra grandes, éstas se vuelven indeseables, impracticables o no son permitidas para unir el acero de refuerzo.

El ingeniero estructurista se enfrenta con ello al problema de definir donde y como unir el acero de refuerzo, diseñando y especificando las uniones en base al conocimiento de los particulares requerimientos de la estructura.

Cuando se diseñan muros, columnas, losas y trabes, los traslapes son comúnmente permitidos, ya que son considerados como la forma mas económica y sencilla de unir acero de refuerzo. Cuando las uniones traslapadas no pueden ser usadas o provocan congestión, dificultad en el armado o detallado, las conexiones mecánicas o soldadas pueden ser utilizadas.

Las conexiones mecánicas se pueden agrupar de dos formas:

conexiones "Tensión-Compresión" y uniones "Solo compresión", siendo las primeras las más utilizadas dentro de las uniones mecánicas. Las uniones soldadas son actualmente el método más popular para unir barras de refuerzo cuando los traslapes no pueden ser utilizados. Sin embargo las uniones soldadas no resuelven del modo más conveniente el problema de la conexión de las barras ya que quedan implicados varios inconvenientes:

- a) Fragilización del material adyacente de las barras a la unión debido al proceso térmico.
 - b) Necesidad de dar tratamiento específico a las puntas de las barras previo a la soldadura.
 - c) Implica condiciones ambientales muy específicas para poder realizar la unión.
 - d) Se requiere de cuidados especiales para el material de fundición (electrodos)
 - e) Se necesita realizar la calificación técnica de los soldadores.
 - f) Es necesario un control de calidad detallado y costoso (rayos X)
- Por estos inconvenientes , las uniones soldadas no siempre representan la mejor forma de conectar el acero de refuerzo.

Las situaciones que hacen necesario o recomendable el uso de las conexiones mecánicas son varias, como por ejemplo, donde se tienen barras del No.8,10,y 12 en las que las uniones traslapadas no son prácticas y son antieconómicas, o donde los reglamentos no autorizan su uso. Lo anterior se presenta normalmente en elementos como columnas, o en otro tipo de elementos de estructuras fuertemente reforzadas, también en el caso donde la concentración del esfuerzo es tal que no permite el traslape de las barras.

Otro caso de interés es aquel donde se especifican juntas constructivas , donde se sugiere el uso de conectores mecánicos para proporcionar continuidad estructural. En este caso, las conexiones mecánicas son a veces preferibles a tener grandes longitudes de acero proyectadas desde el elemento existente de concreto.

Un mínimo de 30 cm. extra proporcionará suficiente longitud para la aplicación de un cople, sin dañar el concreto durante su instalación.

4.- DESCRIPCION DE LOS ENSAYES Y DE LOS ESPECIMENES

4.1.-REGLAMENTACION

El presente estudio ha sido llevado a cabo para determinar si las uniones mecánicas cumplen con los requisitos impuestos por:

- * Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
- * American Society of Mechanical Engineers.
- * American Concrete Institute
- * United States Corps of Engineers.

Los requerimientos de estos reglamentos son descritos a continuación:

4.1.1.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL

Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto.

"Art 3.9 Las barras de refuerzo pueden unirse mediante traslapes o estableciendo continuidad por medio de soldadura o por dispositivos mecánicos. Las especificaciones y detalles dimensionales de las uniones deben mostrarse en planos.

Toda unión soldada o mediante dispositivos mecánicos debe ser capaz de transferir por lo menos 1.25 veces la fuerza de fluencia de tensión de las barras, sin necesidad de exceder la resistencia máxima de éstas. Se respetarán los requisitos 5.2.2 y 5.3.3.". En éstos artículos se especifican los requerimientos de área de acero mínima , la ubicación permitida de las zonas de traslape y sobre la separación mínima de las uniones mecánicas.

"Art.3.9.1..... Si se usan uniones soldadas o mecánicas

deberá comprobarse experimentalmente su eficacia."

4.1.2 American Society of Mechanical Engineers.

"CC-4333.2.3 Tipo y número de ensayos

a) Pruebas estáticas de tensión.

Seis especímenes de la unión por cada diámetro de varilla y tipo diferente de conexión deberán ser probados mediante un ensayo estático de tensión, utilizando la especificación SA-370 al respecto. En el caso de conexiones mecánicas por compresión, tres diferentes tipos de corrugación deberán ser probados por cada diámetro característico.

Un ensayo sobre un espécimen sin acoplar para el mismo tipo de barra usada en la conexión deberá ser llevado a cabo para establecer la resistencia real a la tensión de la barra.

El promedio de la resistencia a la tensión de la conexión de los especímenes no deberá ser menor que el 90% de la resistencia real a la tensión de la varilla de refuerzo en cuestión, ni tampoco menor que el 100% de la mínima

resistencia a la tensión especificada para dicho acero.

El esfuerzo a tensión de una conexión en particular no deberá ser menor que el 125% del mínimo esfuerzo de fluencia de la barra de refuerzo.

Cada reporte de un ensayo particular tanto para conexiones como para barras testigo deberá contener al menos la siguiente información:

- 1) Resistencia a la tensión máxima
- 2) Elongación total
- 3) Curva esfuerzo-deformación

La longitud de calibración de cada par de barras conectadas y de los testigos deberá ser la misma, e igual a la longitud del cople mecánico, mas no menos de un diámetro de la barra de referencia, ni mas de tres diámetros en cada extremo.

b) Ensayes cíclicos de tensión

Tres especímenes del sistema de conexión por cada diámetro de la varilla y tipo de acero de la varilla corrugada y por cada tipo distinto de conexión, deberán sujetarse a un ensaye cíclico de tensión. Cada espécimen deberá resistir 100 ciclos de variación del esfuerzo del 5 al 90% del mínimo esfuerzo de fluencia de la varilla de refuerzo.

Cada ciclo se define como un incremento desde el punto inferior (5%) al punto superior (90%) y de regreso.

4.1.3 American Concrete Institute

4.1.3.1 ACI 318-77

Art. 12.15.3.4. "Una conexión mecánica deberá desarrollar a tensión o compresión si así se requiere cuando menos 125 % del mínimo esfuerzo de fluencia f_y de la barra"

4.1.3.2. ACI 349-76

Art. 7.5.5.2. "Las conexiones mecánicas deberán desarrollar a tensión o compresión, cuando así se requiera, al menos 125 % de la mínima fluencia especificada para la barra."

4.1.3.3. ACI 349-52

Art. 12.15.3.4.1 "Las conexiones mecánicas deberán ser certificadas para su uso en la construcción bajo las bases de los siguientes ensayes de comportamiento mecánico.

1.-Ensayes estáticos de resistencia a la tensión.

Un mínimo de seis ensayos estáticos de resistencia a la tensión deberán ser efectuados en función de cada una de las variables del material de la barra conectada y bajo las mismas condiciones ambientales. Todas las muestras del ensaye deberán cumplir con los requerimientos de la sección 12.15.3.4. "

(En esa sección se establece lo mismo que en 7.5.5.2 del ACI).

2.-Ensayes Cíclicos de tensión.

Tres especímenes de la conexión para cada diámetro y tipo del acero de la barra a ser usado en la construcción deberán sujetarse a 100 ciclos de variación del esfuerzo de tensión desde el 5% hasta el 90% del mínimo esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo. Los especímenes deberán resistir el ensaye cíclico sin pérdida de la capacidad resistente cuando es comparada con los requisitos establecidos en 12.15.3.4 " y ensayados estáticamente a la falla al terminar la fase cíclica.

4.1.4.- United States Corps of Engineers.

Art 8-18.7.2.1.2. "Ensayes de resistencia. Como una condición de aprobación, el contratista deberá hacer tres ensayes de las uniones en presencia de su cliente para cada uno de los diámetros de las barras a ser conectadas usando el método de unión propuesto.

Una barra sin conectar por cada diámetro deberá ser probada a tensión hasta la falla por un laboratorio certificado.

Deberán obtenerse curvas esfuerzo-deformación por cada conexión y barra testigo probada . Los ensayes de tensión deberán ser realizados sobre la sección completa de acuerdo con ASTM E8. Los reportes certificados de dichos ensayes deberán ser remitidos al tiempo de solicitar la aprobación del procedimiento de construcción."

Art 8-18.7.2.4.".....En adición a los requerimientos de resistencia, la deformación adicional de las barras del No.14 y menores debido al deslizamiento o a otros movimientos relativos de la barra respecto al cople no deben de exceder 0.015 pul (deformación unitaria 0.0015 pul/pul) mas allá de la elongación de una barra no acoplada, suponiendo una longitud de calibración de 10 pul, cuando se aplica a la conexión un esfuerzo tensor de 30,000 psi.

La deformación adicional de las barras del No.18 no deberán exceder 0.03 pul (deformación unitaria de 0.003 pul/pul) mas allá de la deformación de una barra no acoplada (testigo) basada en una longitud de calibración de 10 pul cuando se somete el sistema a un esfuerzo tensor de 30,000 psi. La cantidad de deformación adicional deberá ser determinada a partir de las curvas esfuerzo deformación de las barras testigo y de las uniones, para la calificación de los ensayos.

4.2.- DESCRIPCION DE LOS ENSAYES

Con base en la normatividad descrita en 4.1. se propuso el procedimiento de ensaye que se describe a continuación:

4.2.1.- Ensayes estáticos.

Para realizar los ensayes estáticos a tensión se utilizaron seis especímenes por cada diámetro característico (No.8 , 10 y 12 SICARTSA), además de seis especímenes del No. 12 con un tipo de corrugación diferente al anterior (HYLSA), como se describe en

4.3.

Además se ensayaron tres probetas testigo (barras sin conectar) por cada diámetro y tipo de corrugación. Se ensayaron cada una de las probetas ante una carga estática de tensión y para cada prueba se obtuvo la siguiente información:

- a) Resistencia a la tensión máxima P_u (Kg)
- b) Elongación total.

Para ello se estableció la misma longitud de calibración para las barras conectadas que para las testigo , siendo ésta la definida por la longitud del cople mas dos diámetros de la barra a cada lado del cople.

4.2.2.- Ensayes cíclicos de tensión.

Se utilizaron tres especímenes acoplados por cada diámetro característico (No.8 , 10 y 12), aplicándoles 100 ciclos de variación del esfuerzo de tensión , desde el 5 % hasta el 90 % del mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el acero de la barra y al término del cual se aplicó un ensaye estático de tensión hasta la falla , como el descrito en 4.2.1., para este ensaye se obtuvo:

- a) Resistencia a la tensión máxima, Pu (Kg).
- b) Deformación a 30 , 70 y 100 ciclos.
- c) Deformación última.

4.3.- DESCRIPCION DE LOS ESPECIMENES

Para los ensayos se utilizó varilla corrugada grado 42. En dichas varillas se especifica un mínimo esfuerzo de fluencia de 4,200 Kg/cm² y un mínimo esfuerzo a la ruptura a la tensión de 6,300 Kg/cm². Las barras de acero para refuerzo de concreto proceden de 2 fundidoras diferentes:

- * SICARTSA
- * HYLSA

Las varillas fueron unidas mediante coples mecánicos marca RAMSA por la compañía Industrial Acero-técnica S.A. tanto en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapozalco como en el taller de IATSA en la Ciudad de México

En el presente estudio se consideraron los siguientes diámetros de varillas:

DIAMETRO DE LA BARRA	SIDERURGICA	TIPO DE CORRUGACION
1" (No. 8)	SICARTSA	Diagonal 45 °
1 1/4" (No.10)	SICARTSA	Diagonal 45 °
1 1/2" (No.12)	SICARTSA	Diagonal 45 °
1 1/2" (No.12)	HYLSA	Cruzada

3 barras de control o barras testigo fueron incluidas por cada diámetro y tipo diferente de corrugación para un ensaye estático.

Para un mejor control de los especímenes éstos fueron clasificados de acuerdo al diámetro característico de la barra, la procedencia de las barras, el tipo de ensaye efectuado, etc. para ello se les asignó una clave específica por espécimen.

- * El primer o segundo numeral representa el No. de la barra expresado en número de octavos de pulgada.
- * Las letras siguientes (E ó C) indican el tipo de ensaye al que fué sometida la pieza (E=Estático, C=Cíclico)
- * La siguiente letra indica la procedencia de la barra, correspondiendo: A=SICARTSA , B=HYLSA
- * El último numeral indica el número de control del espécimen dentro del ensaye, para un mismo lote de características similares.

En el caso de barras testigo, la clave queda expresada como sigue:

- * El primer o segundo numeral indica el No. de octavos de diámetro de la barra.
- * La letra siguiente (E). igual en todos los casos indica el tipo de ensaye efectuado en ellos.
- * La letra siguiente (A o B) indica la procedencia de la barra.
- * La letra T indica que se trata de una barra de control o testigo.
- * El último numeral indica el orden secuencial de control dentro del ensaye.

A continuación se presenta la información correspondiente:

CLAVE	TIPO ESPECIMEN	DIAMETRO	TIPO DE ENSAYE	PROCEDENCIA
12EA1-12EA6	B. ACOPLADA	12	ESTATICO	SICARTSA
12EAT1-12EAT3	B. TESTIGO	12	ESTATICO	SICARTSA
12EB1-12EB6	B. ACOPLADA	12	ESTATICO	HYLSA
12EBT1-12EBT3	B. TESTIGO	12	ESTATICO	HYLSA
10EAT1-10EAT3	B. TESTIGO	10	ESTATICO	SICARTSA
10EA1-10EA6	B. ACOPLADA	10	ESTATICO	SICARTSA
8EAT1-8EAT3	B. TESTIGO	8	ESTATICO	SICARTSA
8EA1 -8EA6	B. ACOPLADA	8	ESTATICO	SICARTSA
12CA1-12CA3	B. ACOPLADA	12	CICLICO	SICARTSA
10CA1-10CA3	B. ACOPLADA	10	CICLICO	SICARTSA
8CA1 -8CA3	B. ACOPLADA	8	CICLICO	SICARTSA

Dentro de las formas de registro individual para cada espécimen aparecen las dimensiones de las probetas, como son: diámetro de la barra y del cople, longitud , etc.
A continuación se presentan las dimensiones promedio por lote de iguales características:

	Long.tot. [cm]	Long.Cople	Diam.ext.	Espesor cople
12EA1-12EA6	120	27.4	5.70	0.98
12EAT1-12EAT3	80	-	-	-
12EB1-12EB6	120	26.5	6.00	0.95
10EAT1-10EAT3	80	-	-	-
10EA1-10EA6	120	24.2	4.54	0.70
8EAT1 -8EAT3	80	-	-	-
8EA1 -8EA6	120	20.5	4.03	0.71
12CA1-12CA3	120	27.1	5.81	1.00
10CA1-10CA3	120	24.0	4.46	0.75
8CA1-8CA3	120	20.0	4.46	0.73

5.-PROCEDIMIENTO DE ENSAYE

El ensaye fue efectuado de acuerdo a las normas aplicables y en concordancia con las recomendaciones de ASTM A 370-77, ASTM E8 -77a.

Los especímenes fueron probados en una máquina universal BALWIN 400,000 lbs. Satec Systems Inc (Fotografía 11)

5.1.- ENSAYE ESTÁTICO

Previo a la carga de los especímenes , se utilizó un punzón para hacer dos marcas , aproximadamente a dos diámetros desde el extremo del cople hacia la barra y por ambos lados , y dos marcas sobre el cople a un diámetro de los bordes del mismo. Así se establecieron una serie de longitudes de calibración traslapadas, con el tercio medio claramente definido.

La longitud total de los especímenes fue tal que permitiera introducir los extremos de las barras aproximadamente 20 cm dentro de la zona de mordazas.

Durante la aplicación de la carga estática , tanto la fuerza a la cual fluyó el acero , como la carga última o de rotura fueron registradas a partir del dial de la máquina y las deformaciones tanto parciales como totales fueron medidas

directamente a partir de las marcas hechas sobre el espécimen mediante un vernier (fotografía 12)

La deformación total a la falla para las barras testigo fué determinada utilizando la misma longitud de calibración utilizada para las barras acopladas. Las lecturas de deformación fueron tomadas en ambos lados del espécimen y los resultados promediados para excluir los efectos de la curvatura.

5.2.- ENSAYE DE TENSION CICLICA

El ensaye de tensión cíclica se efectuó, mediante la aplicación de cargas alternadas sobre el espécimen acoplado, para tres distintos diámetros . La carga de tensión fue aplicada desde un 5% del esfuerzo mínimo de fluencia especificado ($f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$), hasta un límite superior de 90% del mismo y después en sentido inverso , lo cual define un ciclo.

Para cada espécimen, 100 ciclos como los anteriores fueron aplicados, durante los cuales las probetas fueron observadas para detectar posibles deslizamientos u otros efectos especiales en detrimento de la unión. Al inicio del ensaye , así como al concluir los primeros 30, 70 y 100 ciclos y posteriormente a la falla, se tomaron lecturas sobre las marcas para identificar las posibles deformaciones que tuvieran lugar en la unión, así como la elongación última.

Al término de la fase cíclica, la probeta fue cargada estáticamente hasta la falla , del mismo modo como se hizo para los ensayes estáticos , determinando así el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo y cargas últimas que cada una de las probetas mostró para este ensaye.

6.- RESULTADOS DE LOS ENSAYES

6.1.- ENSAYE ESTÁTICO

Los resultados del ensayo estático se condensan en las tablas 1 a 7. Las barras están clasificadas según la convención anteriormente establecida y los resultados mostrados corresponden a las columnas de la siguiente manera:

COLUMNA	CONCEPTO
Esp.	Identificación del espécimen
Pmax.	Carga máxima de ruptura en Kg.
Pfy.	Carga en la que se presenta la fluencia en Kg.
$P_{max}/f_y \cdot A$	Cociente de la carga máxima a la ruptura entre la carga teórica de fluencia
$P_{max}/f_u \cdot A$	Cociente de la carga máxima a la ruptura entre la carga mínima especificada a la ruptura.
T.F.	Tipo de falla presentada por el espécimen FC=Falla central en el cople por rotura FV=Falla en varilla, fuera del cople.

La falla clasificada como FC es aquel modo de falla que se presenta en el centro del cople, exhibiendo un estrechamiento del mismo en el tercio medio, previo al rompimiento del cople en dicha zona.

El modo descrito como FV, falla en la barra, indica que el mecanismo de falla ocurrió por fractura del acero de refuerzo, fuera de la zona comprimida por el cople.

Un tipo de falla que se esperaba ocurriera, que es la extracción de la barra del cople por deslizamiento, no se

presentó en ninguno de los especímenes (Fotografías 13 a 18)

TABLAS DE RESULTADOS

A) BARRAS TESTIGO (ENSAYE ESTATICO DE TENSION)

TABLA 1

Esp.	Pmax
12EAT1	83,500
12EAT2	83,100
12EAT3	84,800
12EBT1	92,700
12EBT2	92,800
12EBT3	92,800

TABLA 2

Esp.	Pmax
10ET1	63,200
10ET2	62,900
10ET3	63,000

TABLA 3

Esp.	Pmax
8ET1	34,500
8ET2	34,500
8ET3	34,600

B) BARRAS ACOPLADAS (ENSAYE ESTATICO DE TENSION)

TABLA 4

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
12EA1	83,000	1.73	0.99	F.C.
12EA2	83,400	1.74	1.00	F.V.
12EA3	81,000	1.69	0.97	F.C.
12EA4	83,500	1.74	1.00	F.V.
12EA5	83,750	1.75	1.00	F.V.
12EA6	76,300	1.59	0.91	F.C.

TABLA 5

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
12EB1	87,000	1.82	0.94	F.C.
12EB2	85,200	1.78	0.92	F.C.
12EB3	84,400	1.76	0.91	F.C.
12EB4	83,600	1.75	0.90	F.C.
12EB5	83,200	1.74	0.90	F.C.
12EB6	87,000	1.82	0.94	F.C.

TABLA 6

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
10EA1	55,500	1.66	0.88	F.C.
10EA2	56,000	1.68	0.89	F.C.
10EA3	56,950	1.71	0.90	F.C.
10EA4	56,100	1.68	0.89	F.C.
10EA5	57,100	1.71	0.91	F.C.
10EA6	57,600	1.73	0.91	F.C.

TABLA 7

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
8EA1	35,000	1.64	1.01	F.V.
8EA2	35,000	1.64	1.01	F.V.
8EA3	34,800	1.63	1.00	F.V.
8EA4	34,800	1.63	1.00	F.V.
8EA5	34,800	1.63	1.00	F.V.
8EA6	34,800	1.63	1.00	F.V.

6.2.- ENSAYE CICLICO

Los resultados del ensaye cíclico se condensan en las tablas 8,9,y 10. Se establece la misma simbología que para el ensaye estático, mostrándose la clave del espécimen, la carga máxima de ruptura y de fluencia, así como los respectivos cocientes que se forman con los valores nominales.

Para cada uno de los especímenes se establecen 100 ciclos de carga a tensión desde el 5% al 90% de la carga correspondiente a la fluencia, tras lo cual se procede a cargarla hasta la falla como en el caso de los especímenes ensayados estáticamente.

BARRAS ACOPLADAS (ENSAYE CICLICO DE TENSION)

TABLA 8

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F
12CA1	82,800	1.73	0.99	F.V.
12CA2	66,000	1.37	0.79	F.V.
12CA3	79,200	1.65	0.95	F.V.

TABLA 9

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
10CA1	58,200	1.75	0.92	F.C.
10CA2	57,400	1.72	0.91	F.C.
10CA3	53,200	1.60	0.84	F.V.

TABLA 10

Esp.	Pmax	Pmax/fy*A	Pmax/fu*A	T.F.
8CA1	34,800	1.63	1.00	F.V.
8CA2	34,500	1.62	1.00	F.V.
8CA3	34,700	1.63	1.00	F.V.

7.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados se discute en cuatro diferentes secciones. Cada sección corresponde a los requerimientos mecánicos que imponen los siguientes reglamentos:

- * RDF-87
- * ASME
- * ACI
- * USCE

7.1 REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL.

Con base en los requerimientos establecidos por RDF-87 en sus artículos 3.9 y 3.9.1, se establece como único requisito al que deben someterse las uniones mecánicas en cuanto a su resistencia el ser capaces de transmitir 1.25 veces la fuerza de fluencia a tensión de las barras, sin que exceda a las mismas.

Con base en las tablas 4,5,6 y 7 se observa que ninguna de las probetas presentó un cociente $P_{max}/f_y * A$ menor o igual a 1.25.

Se presenta a continuación los cocientes promedios para dicho concepto:

Esp.	Prom.	Max.	Min.
12EA1-12EA6	1.71	1.75	1.59
12EB1-12EB6	1.78	1.82	1.74
10EA1-10EA6	1.70	1.73	1.66
8EA1-8EA6	1.63	1.64	1.63

TABLA 11

Se establece que el RDF-87 no considera necesario cumplir condiciones de caracter cíclico, por lo cual las uniones mecánicas para todos los diámetros cumplen muy por arriba del límite especificado, en porcentajes que varían desde 27 % hasta 46 %.

7.2.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.

El reglamento ASME obliga a cumplir condiciones de prueba de caracter estático y cíclico, cuyos resultados se analizan a continuación:

7.2.1.- Ensayes Estáticos.

El reglamento ASME en su artículo cc-4333.2.3. establece que las probetas deberán presentar una resistencia última no menor del 90 % de la que presenta una varilla sin acoplar, ni menor del 100 % de la mínima resistencia última especificada para dicho acero. Además se establece que ninguna conexión deberá presentar una carga última menor que el 125 % del mínimo esfuerzo de fluencia de la barra de refuerzo.

Con base en las tablas 1,2,3,4,5,6 y 7 se establecen las siguientes relaciones:

Esp.	Pmax(prom)	Pmax (test)	Pm(prom)/Pm(test)
12EA1-12EA6	81,825	83,300	0.98
12EB1-12EB6	84,929	92,766	0.92
10EA1-10EA6	56,542	63,033	0.90
8EA1-8EA6	34,867	34,533	1.00

TABLA 12

De lo anterior se observa que para todos los diámetros estudiados, éstos cumplen con presentar una resistencia última no menor que el 90 % de la que presentan las barras testigo.

Por otro lado, se presentan las cargas de ruptura mínimas especificadas para cada diámetro, según los fabricantes, Pf., de acuerdo al mínimo esfuerzo de rotura especificado, así como los promedios de las máximas cargas soportadas por las probetas, Pu(prom) para cada diámetro. En la tercera columna aparece el cociente $Pu(prom)/Pf$ respectivo:

Esp.	Pf.	Pmax(prom)	Pmax(prom)/Pf.
12EA1-12EA6	71,820	81,825	1.14
12EB1-12EB6	71,820	84,929	1.18
10EA1-10EA6	50,022	56,542	1.13
8EA1-8EA6	31,941	34,867	1.09

TABLA 13

Por lo anterior se puede afirmar que los coples mecánicos para los distintos diámetros, cumplen satisfactoriamente esta segunda condición, con un margen que oscila entre 9 % y 18 %.

Respecto a la limitante del 125 % de la mínima fuerza de fluencia especificada, quedó demostrado que se cumple lo anterior para el caso del RDF-87.

7.2.2.- Ensayes cíclicos.

El ASME especifica que las probetas deberán resistir sin fallar 100 ciclos de carga a tensión como se describió anteriormente, y no indica la necesidad de llevarlo a la falla a ese término.

En cualquier caso, las probetas resistieron sin fallar 100 ciclos de variación de carga a tensión , lo que cumple con lo requerido por el ASME.

7.3.- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.

Como en el caso de ASME, el ACI solicita condiciones específicas tanto para el caso estático como cíclico:

7.3.1.- Ensayes estáticos.

El ACI establece que las seis probetas a las que se les aplique un ensaye de tensión estático , deberán resistir cuando menos el 125% de la fuerza de fluencia mínima especificada para la barra. Como en el caso del RDF-87 y el ASME ,se satisface lo requerido, como se establece en 7.1 y 7.2.1.

7.3.2.- Ensayes Cíclicos.

El ACI solicita que las probetas deben resistir 100 ciclos de carga-descarga como quedó descrito , sin fallar, y posteriormente ser sometidos a un ensaye a tensión estática hasta la falla, debiendo cumplir lo establecido en 4.1.4.1.

A partir de los resultados mostrados en las tablas 8,9 y 10 se puede observar que ninguna de las probetas presentó un cociente $P_{max}/f_y \cdot A$ menor a 1.25, mínimo especificado. Sin embargo se observa un disminución de la capacidad de la unión respecto al caso estático para barras del No.12. Se presentan a continuación los cocientes promedio $P_{max}/f_y \cdot A$ para los distintos diámetros.

TABLA 14

Esp.	Caso Estatico	Caso Ciclico
12EA1-12EA6	1.71	1.58
10EA1-10EA6	1.70	1.69
8EA1-8EA6	1.63	1.63

Se observa una disminución principalmente para el diámetro 1 1/2" y acudiendo a la tabla 8 se observa que esta disminución se debe principalmente al comportamiento de la probeta 12CA2 , la cual presentó un comportamiento de falla único dentro del lote de especímenes. Este comportamiento se manifestó por la baja carga máxima de rotura que soportó (66,000 Kg.), 20 % menor que la máxima carga de ruptura promedio para ese diámetro, así como la múltiple fracturación del acero del cople, en sentido transversal y longitudinal.

Por lo anterior y de acuerdo con el ACI, los conectores mecánicos en su fase cíclica cumplen con el cociente $P_{max}/f_y \cdot A$ mayor a 1.25 en todos los casos y no mostrar pérdida significativa de capacidad debido al requerimiento cíclico, excepto en el caso del No.12.

7.4.- UNITED STATES CORPS OF ENGINEERS

Este reglamento sólo impone las recomendaciones del ASTM E8 cubiertas por el ASME y realizadas durante el ensaye, sin especificar cuales son los criterios de aprobación , aunque sí se establecen requerimientos específicos en cuanto a las deformaciones máximas permisibles (deformación unitaria de 0.0015 pul/pul).

De acuerdo con el apéndice se puede comprobar que en ninguno de los casos se sobrepaso este límite .

7.5.-EFECTO COMBINADO DE LAS REGLAMENTACIONES

Un último análisis se presenta a continuación, tomando la filosofía de los cuatro reglamentos descritos anteriormente y que combinando o sumando sus requerimientos constituyen una evaluación representativa del criterio último de aceptación. Para ello se establecen los siguientes requisitos:

7.5.1 Ensayes estáticos.

- * Las probetas deberán satisfacer un cociente $P_{max}/f_y \cdot A$ mayor o igual a 1.25
- * Deberán satisfacer un cociente $P_{max}/P_{max}(test)$ mayor o igual a 0.9
- * Deberán cumplir con un cociente $P_{max}/f_u \cdot A$ mayor o igual a 1.00

Al confrontar los resultados obtenidos para el caso estático con lo descrito anteriormente se observa que en todos los casos se cumple con esos requisitos, como se establece en 7.1, 7.2.1 y 7.3.1.

7.5.2. Ensayes cíclicos.

- * Las probetas deberán resistir 100 ciclos de variación de esfuerzo tensor desde el 5 % hasta el 90 % del mínimo esfuerzo de fluencia sin fallar
- * Al término del ensaye cíclico las probetas se llevarán a la falla realizando un ensaye estático, verificando que no muestren pérdida en su capacidad de carga.
- * Las probetas deberán cumplir los requerimientos definidos en 7.5.1.

En cuanto a los ensayes cíclicos los dos primeros puntos son satisfechos de acuerdo al ACI (7.3.2.), teniendo en cuenta el aspecto sobre la pérdida de capacidad para el caso de las barras del No. 12.

En el tercer punto se establece una limitación conservadora ya que se imponen las restricciones estáticas al caso cíclico.

Para la consideración del cociente mínimo de 1.25 entre el esfuerzo máximo de rotura y el esfuerzo de fluencia se ha demostrado ya su cumplimiento.

Para los dos últimos requerimientos se presenta la siguiente tabla:

TABLA 15

ESP.	Pmax.	Pu.	Pmax/Pu
12EC1-12EC3	76,000	83,800	0.91
10EC1-10EC3	56,267	63,033	0.89
8EC1-8EC3	34,667	34,533	1.00

Se observa que en este aspecto, salvo en el caso de las varillas del No.10 , se cumple con lo requerido.

Por último se presenta en la siguiente tabla los cocientes de la máxima carga promedio soportada por las probetas (Pmax) y las máximas cargas que las probetas testigo soportaron en promedio (Pmax.test).

TABLA 16

Esp.	Pmax.	Pmax.test	Pmax/Pmax.test
12EC1-12EC3	76,000	71,820	1.06
10EC1-10EC3	56,267	50,022	1.12
8EC1-8EC3	34,667	31,941	1.09

De donde se observa que para todos los casos, las probetas sometidas a tensión cíclica satisfacen el tener un cociente $P_{max}/P_{max\ test}$ superior a 1.00

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el capítulo anterior se ha analizado con detalle el comportamiento de los coples para cada una de las normativas existentes e incluso para una combinación de las mismas.

En base a éste análisis, se puede afirmar que los coples cumplen satisfactoriamente con los requisitos de aprobación impuestos por el RDF-87 , ASME , y USCE , como se observó, si se analizan los resultados para cada uno por separado.

En cuanto al ACI, en el caso estático se verifica satisfactoriamente el cumplimiento de los requisitos mínimos impuestos, sin embargo, para la fase cíclica, los diámetros de 1 1/4" y 1" cumplieron satisfactoriamente lo requerido , quedando establecido el caso correspondiente al diámetro de 1 1/2", único que presenta una pérdida de capacidad última de carga.

En cuanto a la combinación de normas establecida en 7.5., se observó que para el caso estático las probetas cumplieron satisfactoriamente lo requerido y en el caso cíclico se establece nuevamente que con la excepción de las probetas de 1 1/2", los coples presentan en todos los casos condiciones y características que acreditan su comportamiento mecánico en forma satisfactoria. Por otro lado se presentan a continuación las relaciones de áreas del cople con respecto a la barra para los tres diámetros considerados:

TABLA 17

DIAMETRO		Ac/Av
1 1/2"	(SICARTSA)	1.50
1 1/2"	(HYLSA)	1.42
1 1/4"	(SICARSTA)	1.32
1"	(SICARTSA)	1.78

En las tablas 12 y 15 queda establecido que para el caso de las barras del No.10 se presentan cocientes de la resistencia en el límite mínimo permisible que al observar el tipo de falla predominante para el caso del No.10 , que fué de rompimiento del cople tanto para el caso estático como para el cíclico y comparándolo con la relación de áreas mostrada en la tabla 17, hace ver la conveniencia de incrementar el área neta del cople para el caso de 1 1/4" hasta tener un cociente mínimo de 1.5 en promedio y que con ello se tenga en cuenta las posibles variaciones en la calidad del material del cople que, como quedó de manifiesto, puedan presentarse.

Asimismo, es importante hacer notar que dentro de los tipos de falla presentados por los coples no ocurrió en ningún caso el deslizamiento de la barra en el cople , lo que por lo menos dentro del presente estudio implica que no existen problemas en cuanto al proceso de la unión ya que se garantiza un comportamiento eficiente de la adherencia barra-cople.

Por otro lado, se hace evidente el óptimo comportamiento de las conexiones cuando se observan los resultados de los especímenes de 1". Puede observarse de las tablas 7,10,11,12,14,15,16 y 17 los altos coeficientes comparativos de resistencia, donde en el 100 % de los casos se presentó la falla en las barras, fuera del cople, (el tipo óptimo esperado) y se observó prácticamente un comportamiento análogo entre el estático y el cíclico, lo que parece estar relacionado con el cociente de las áreas (1.78) que en promedio se observó para 1" (tabla 17).

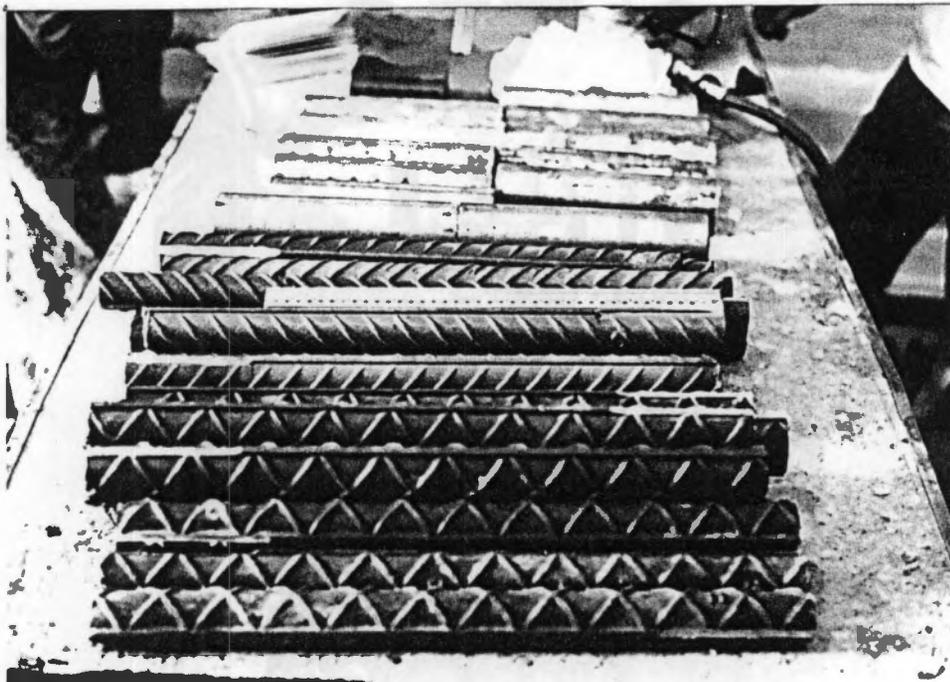
Finalmente, la relación de áreas para el caso de las barras del No.12 parece estar también relacionada con el comportamiento del cople, ya que no se manifiestan condiciones tan óptimas como las presentadas para otros diámetros. Para el caso estático de las barras del No.12 se tiene un comportamiento aceptable como se había observado, sin embargo no sucede lo mismo para el caso dinámico, donde la falla particular presentada parece indicar una posible influencia de las variaciones en la calidad del acero.

Se hace notar que dentro de las fallas que se presentaron fuera del cople, en la barra, ocurrió en algunos de los casos (Probetas 12EA2,12EA4,12EA5) el rompimiento precisamente en la zona donde se había retirado por lijado la costilla lateral de la barra, misma que no fué introducida totalmente dentro del cople, como en el resto de las probetas, por lo que quedó fuera de la zona comprimida por el cople, recomendándose que en todos los casos la zona de costilla lateral lijada sea introducida y comprimida por el cople.

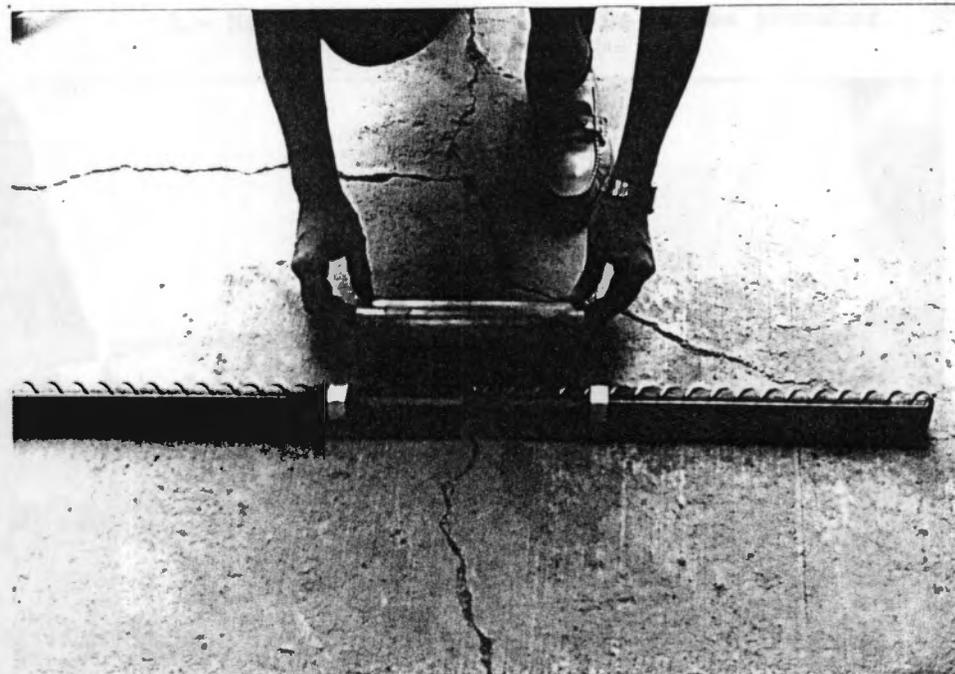
9.- APENDICE



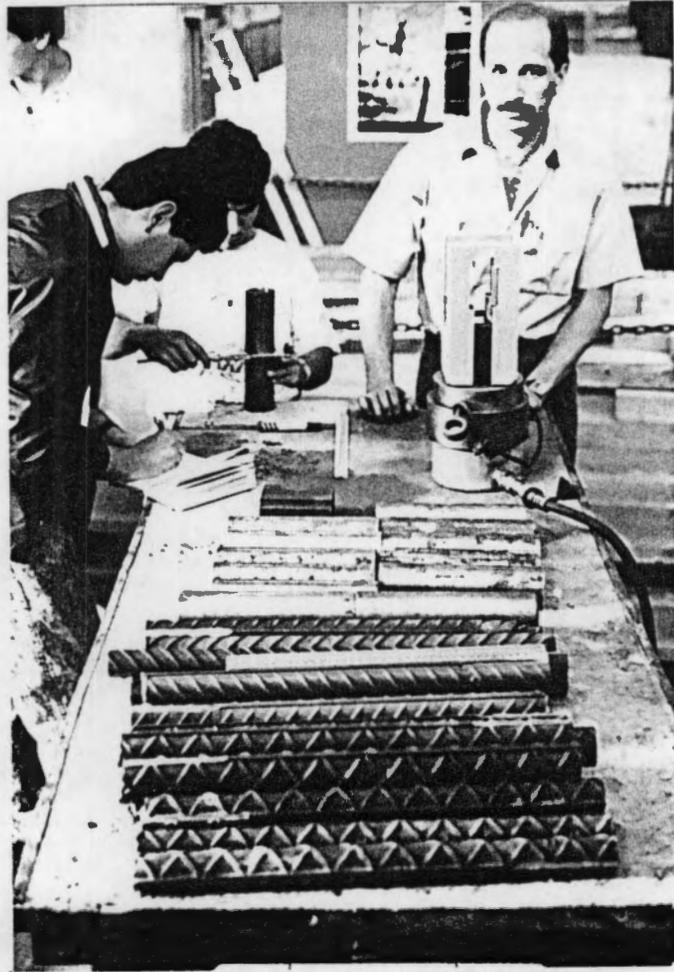
Se presentan a continuación los registros de todos los ensayos efectuados, estáticos y cíclicos, mismos que incluyen la información en que se basa el presente estudio.



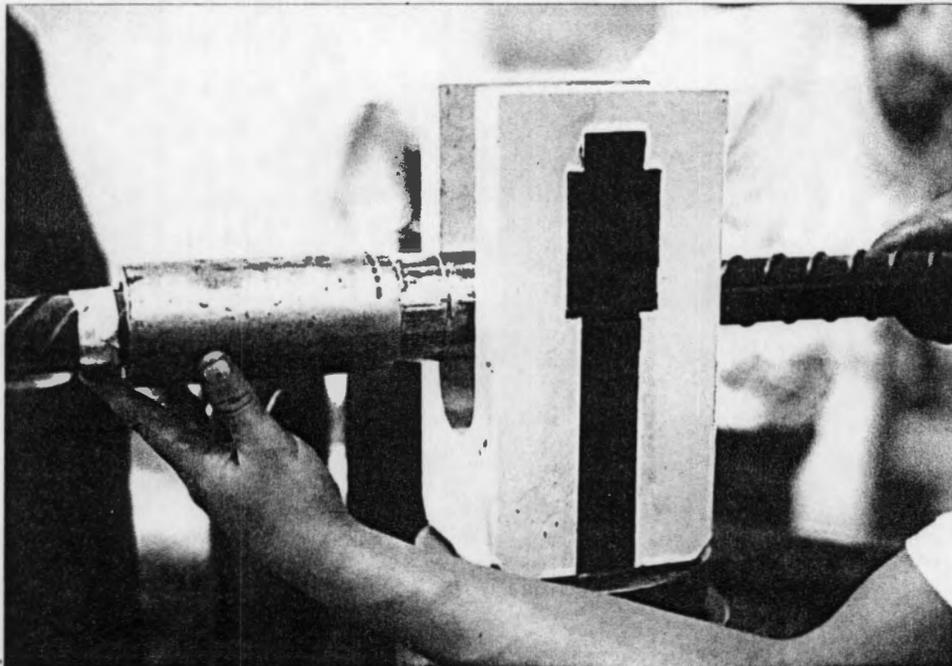
1.- Preparación de las probetas



2.- Probetas sin acoplar mostrando la costilla lijada



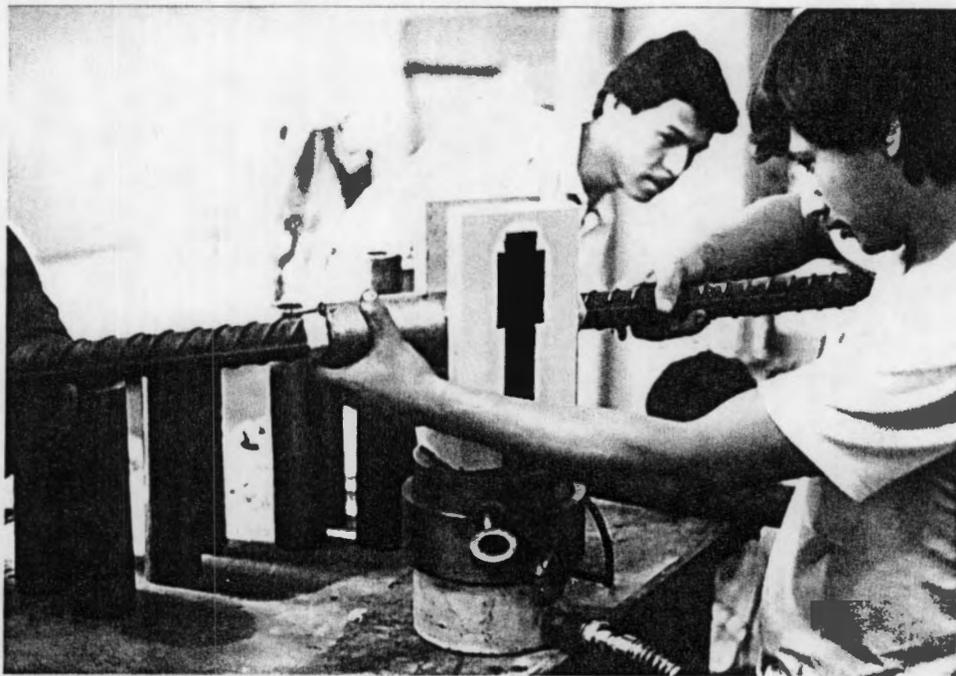
3.- Medición e identificación de las probetas.



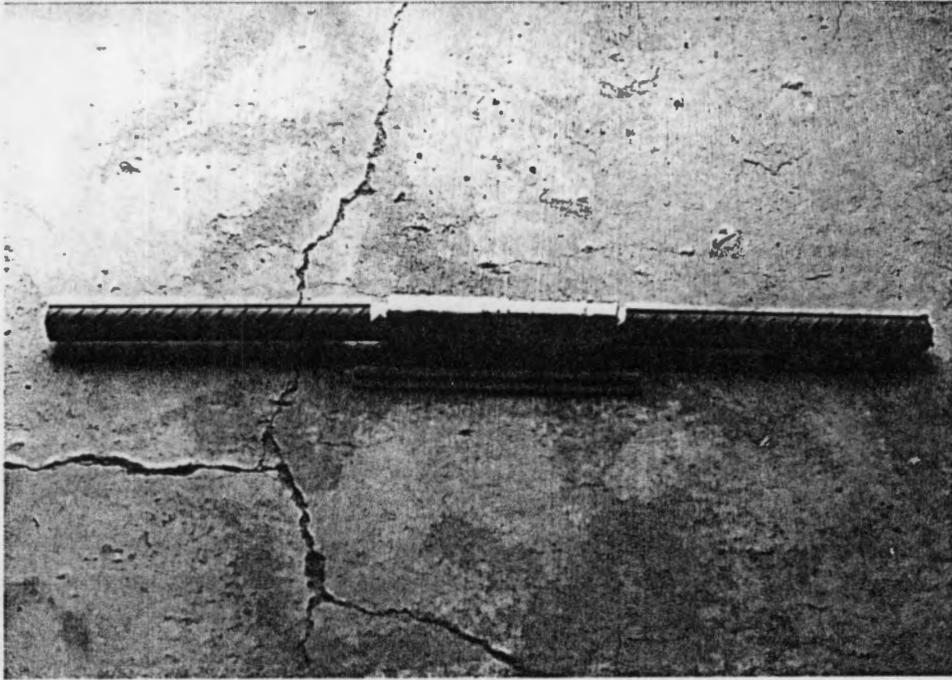
4.- Proceso de compresión en la primera mitad.



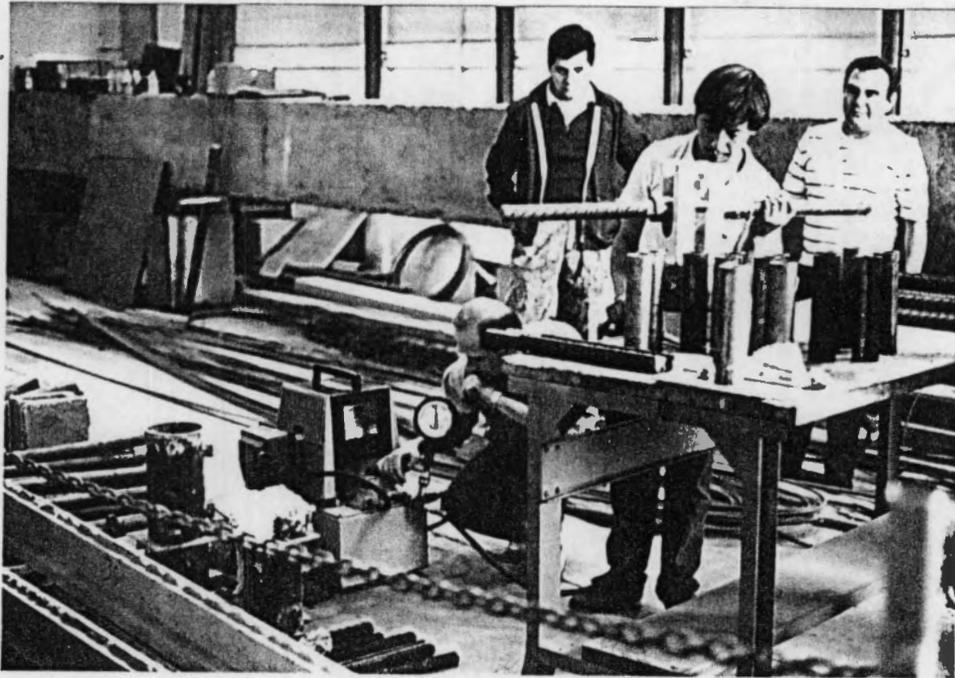
5.- Proceso de compresión mostrando las etapas (Suajes).



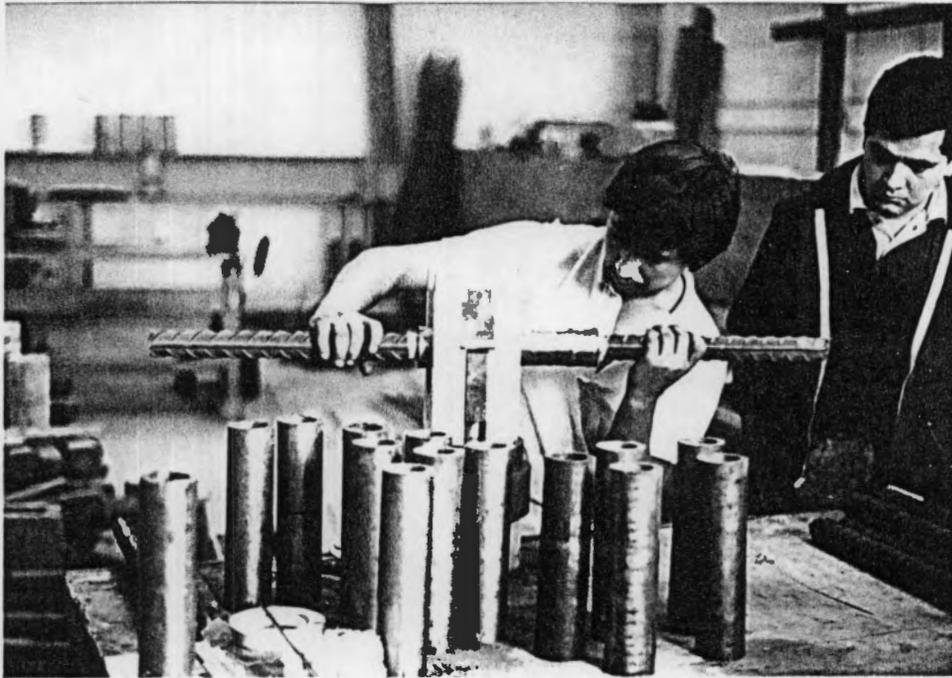
6.- Conclusión de la primer etapa de suajado.



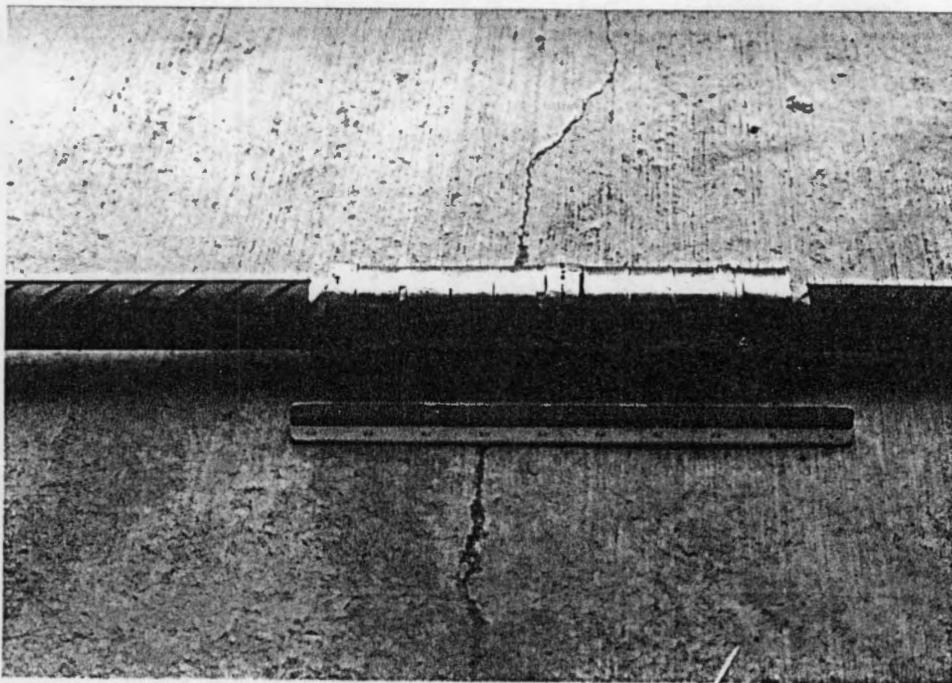
7.- Probeta mostrando la primer etapa de suajado.



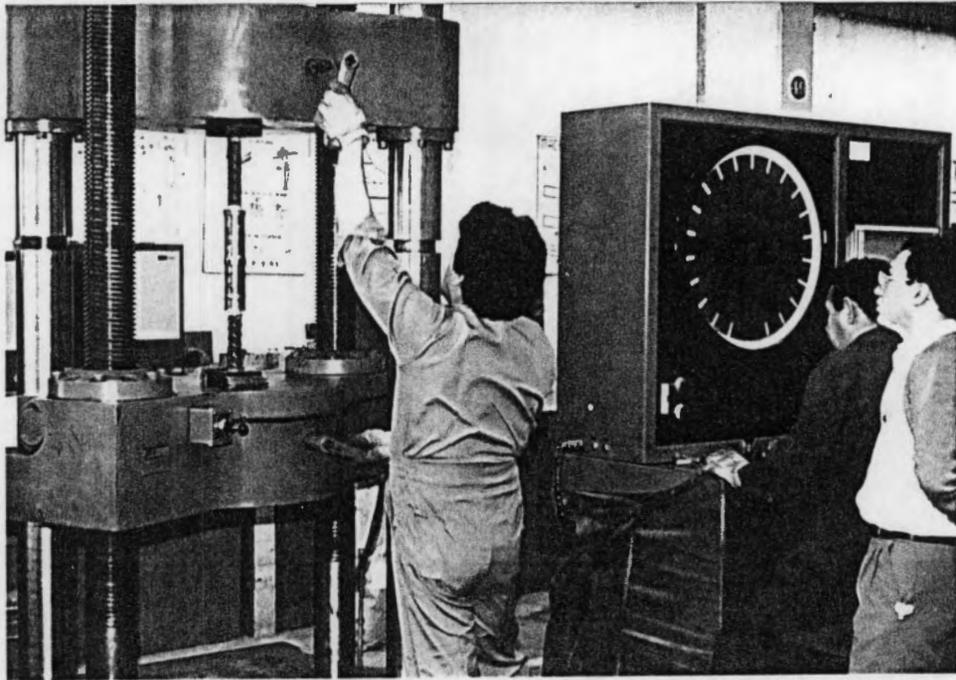
8.- Compresor y prensa hidráulica para prensado de los coples (inicio de la segunda etapa).



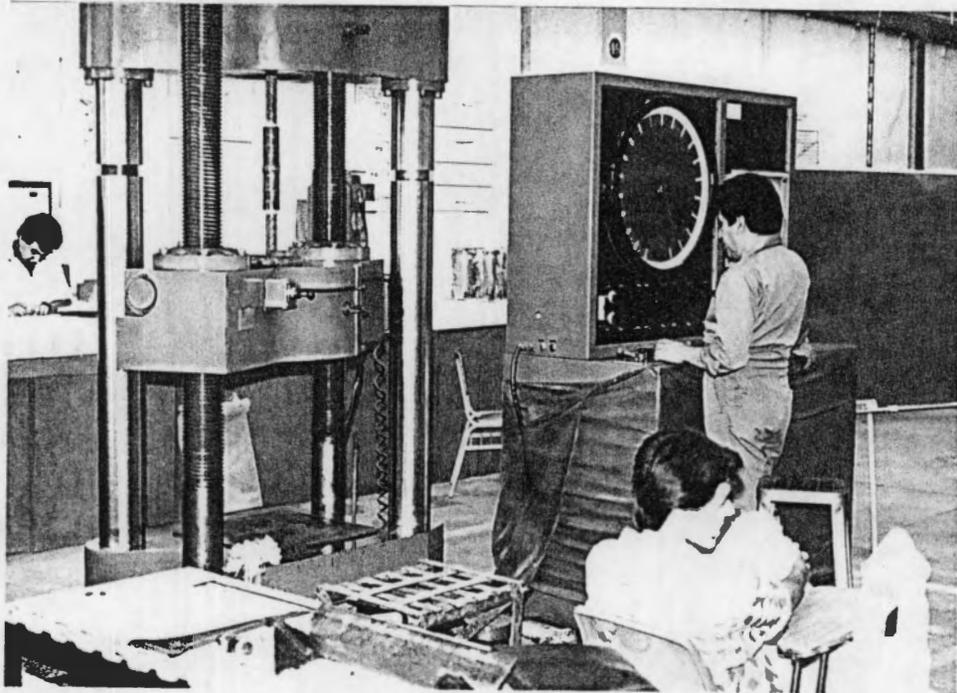
9.- Etapa final de compresión de la probeta.



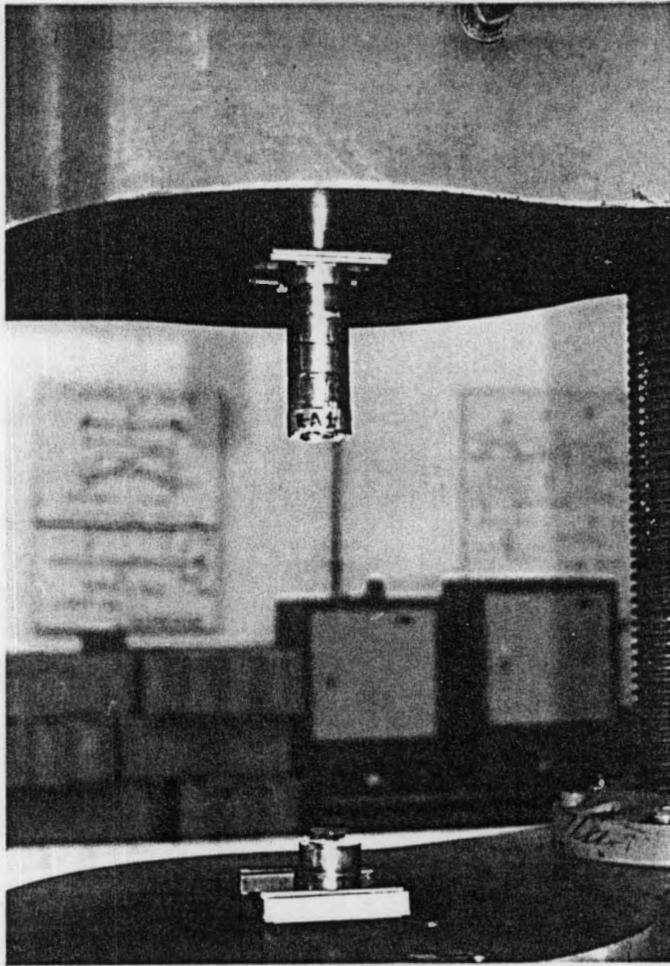
10.- Vista de una probeta totalmente acoplada.



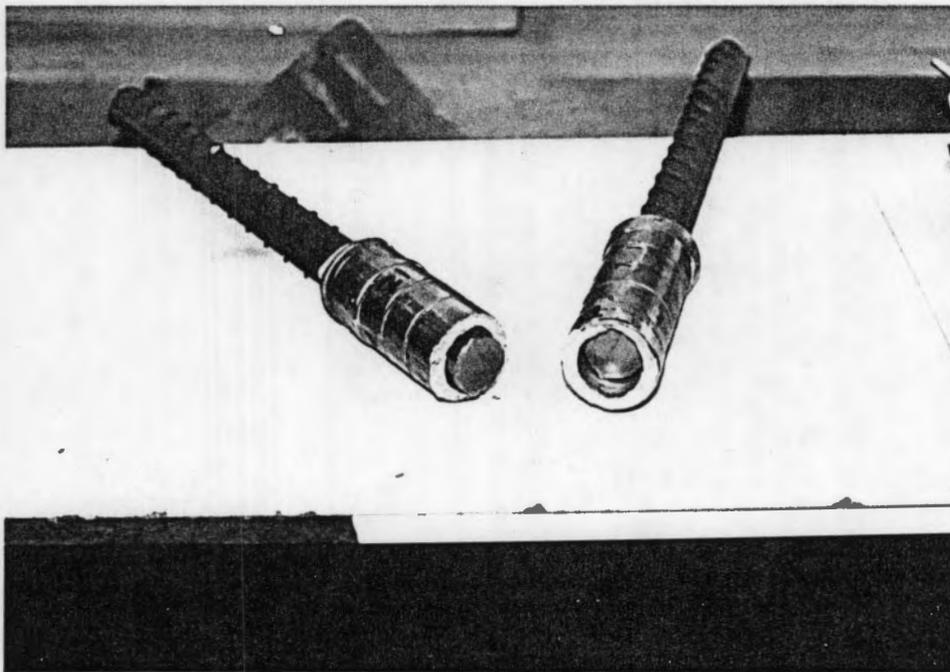
11.- Colocación de una probeta en la máquina universal.



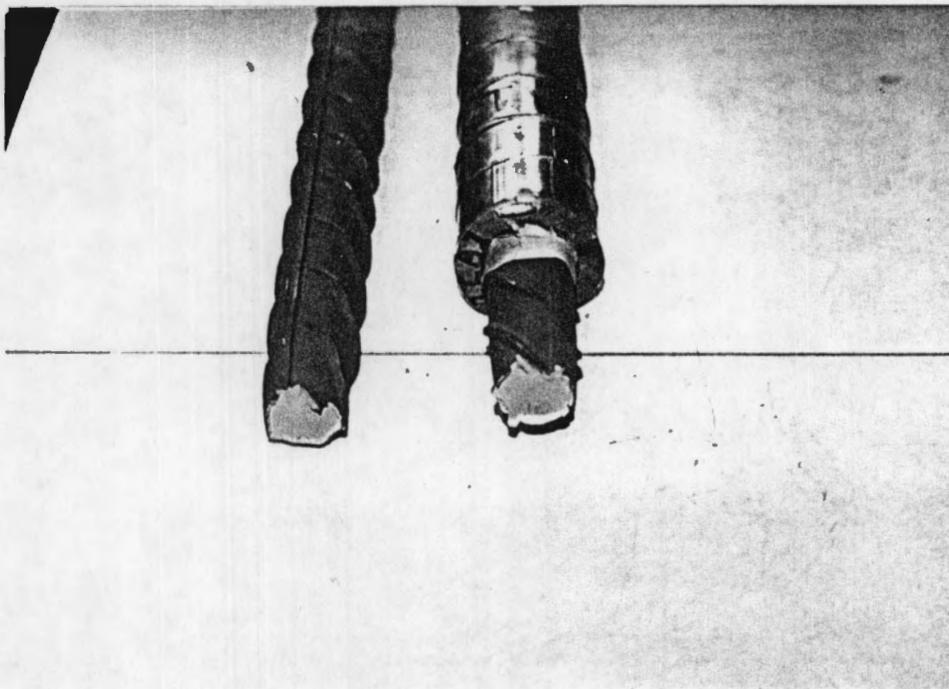
12.-Máquina universal de pruebas del laboratorio de Materiales de la U.A.M.



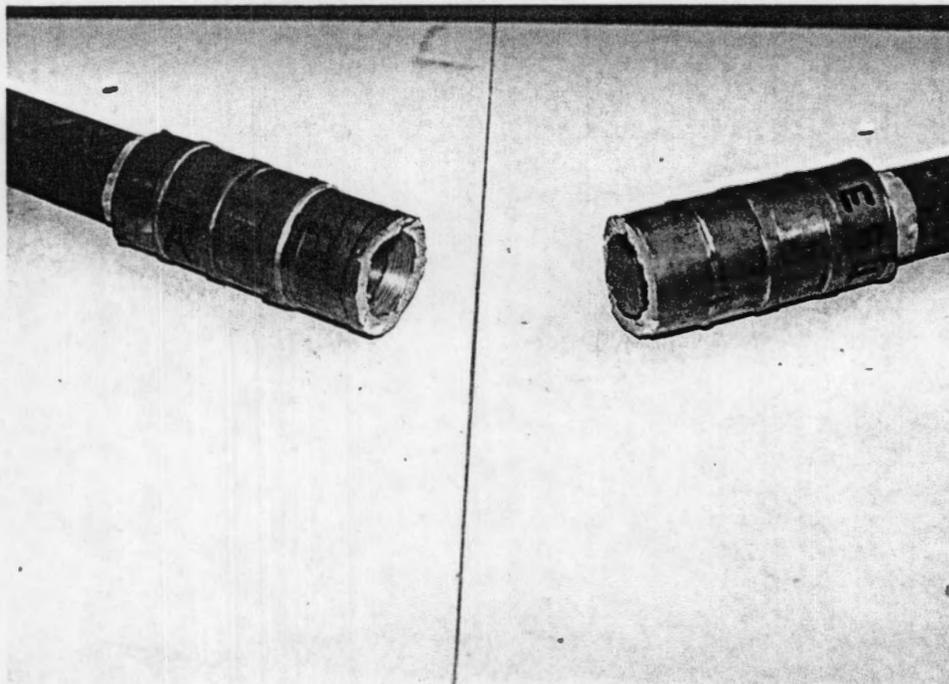
13.- Falla central en el cople (F.C.)



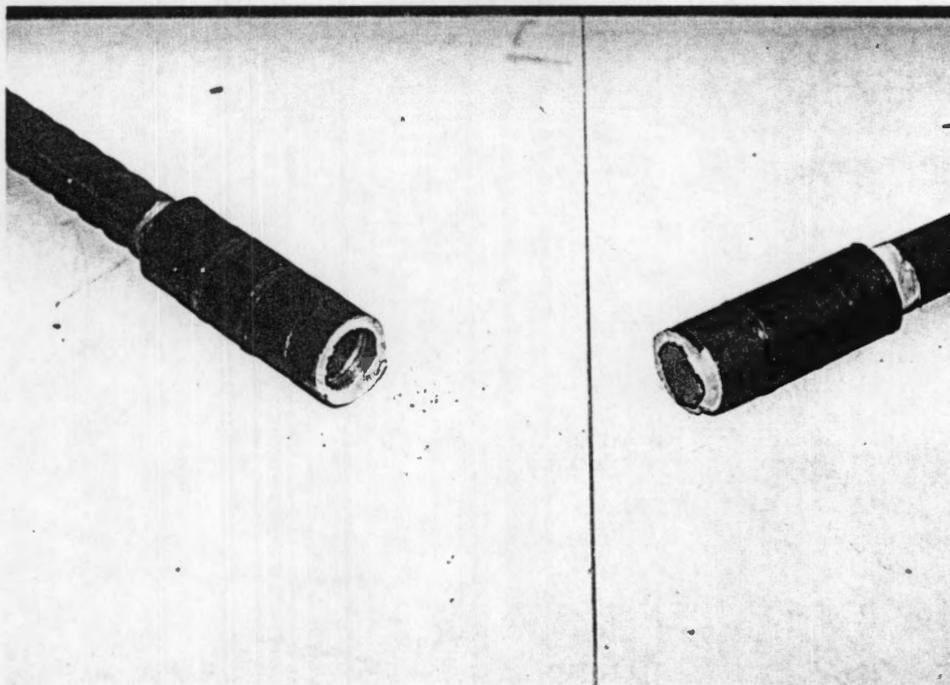
14.- Probeta del No.12 mostrando Falla Central.



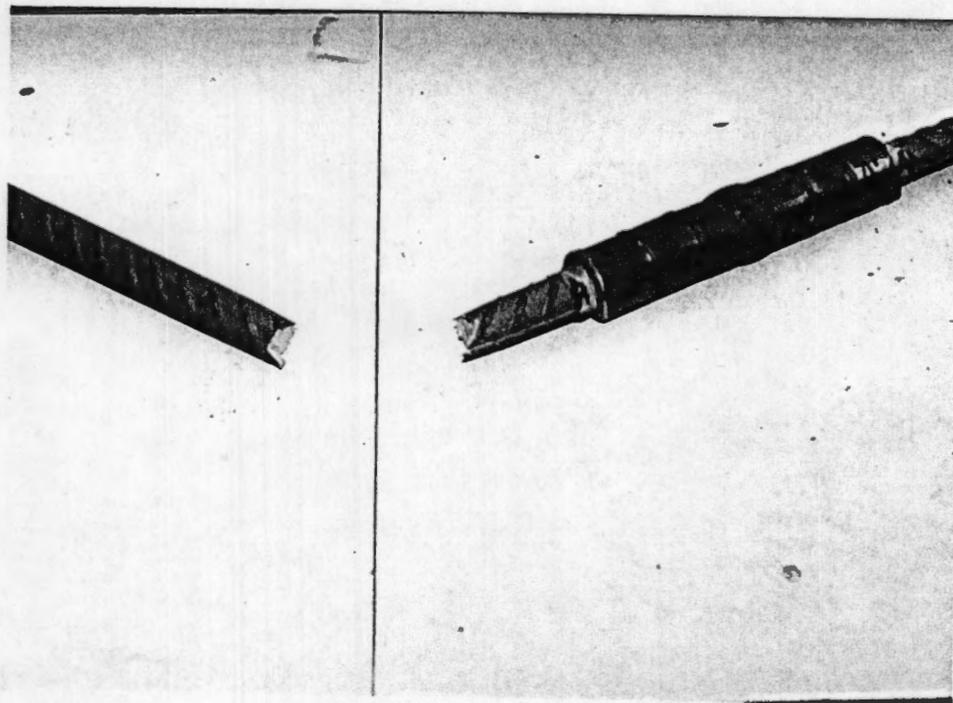
15.- Falla de la barra (F.V.)



16.- Falla Central en probeta ensayada estáticamente.



17.- Falla Central en Cople (Ensaye cíclico).



18.-Falla de varilla ensayada cíclicamente
(Probeta del No. 8).

10.- BIBLIOGRAFIA

Los documentos y normas que han servido de referencia para este estudio se listan a continuación:

1.- AMERICAN CONCRETE REFERENCES

- 318-77 Building Code Requeriments for Reinforced Concrete
- 318R-77 Commentary on Building Code Requeriments for Reinforced Concrete.
- 349-80 Code Requeriments for Nuclear Safety related Concrete Structures.
- 359-80 Code for Concrete Reactor Vessels and Containments.

2.- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.

Section III.Division 2 CC-4333.2.3

3.-UNITED STATES CORPS OF ENGINEERS.

Typical splice requirements of U.S.C.E.

4.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL.

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

5.-Mechanical Connections of Reinforcing Bars.

Report No.ACI 439-3R-83 ACI Commitee 439

6.-Reinforcing Bar Splices.

Concrete Reinforcing Steel Institute.

Kingsports,Tennessee USA. 1978

7.-American Society for Testing Materials.

A 615-82 Standard Specification for deformed and Plain
Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.

F/DEPFI/TI 1/1990



717694