

CALIDAD DEL HORMIGON Y DEL ACERO PARA HORMIGON ARMADO DE LAS CONSTRUCCIONES SOMETIDAS A LOS TERREMOTOS DE MAYO DE 1960 EN EL SUR DE CHILE

Atilano LAMANA *

RESUMEN

Como una contribución al estudio del comportamiento de las construcciones sometidas a los terremotos de mayo de 1960, se informa sobre la calidad del hormigón y del acero para hormigón armado empleados en el Sur de Chile.

Se estudia la calidad de los hormigones empleados, examinando la resistencia de los cementos, los agregados, los métodos de confección y las resistencias obtenidas en hormigones para diferentes empleos. Los cementos estaban rigurosamente controlados y superaban las resistencias exigidas por las normas. Habitualmente, los hormigones cumplían, o no quedaban notablemente por debajo de las resistencias especificadas en los cálculos.

Se dan valores de la resistencia del hormigón de algunas obras dañadas, mostrando resultados de controles durante su construcción o ensayos de vigas extraídas después de los terremotos. Los hormigones de estas obras tenían resistencias del mismo orden que las habituales, con excepción de algunas con resistencia especialmente baja.

Se muestran los resultados obtenidos en los controles de producción de barras de acero durante 10 años. Las fábricas cumplen las resistencias exigidas.

INTRODUCCION

El comportamiento de una estructura bajo una sollicitación depende de su diseño y de su construcción. En el diseño deben dis-

* Ingeniero del IDIEM, jefe de la Sección de Investigación de Hormigones.

tinguirse las hipótesis de solicitaciones y los métodos y desarrollo del cálculo. En la construcción, la calidad de los materiales y la ejecución de la obra^{1*}.

Para analizar el comportamiento de las construcciones sometidas a los terremotos de mayo de 1960, es conveniente por lo tanto estudiar la influencia de cada uno de los factores mencionados. Este informe se refiere a la calidad de los materiales, dando a conocer la calidad del hormigón y del acero para hormigón armado empleados en el Sur de Chile y comparando los valores obtenidos con los especificados en los cálculos.

Algunos de los resultados que se presentan fueron aportados a estudios que se han hecho, en Chile y en el extranjero, de construcciones dañadas. En este trabajo se muestra toda la información disponible para que sea de conocimiento general.

CALIDAD DE LOS HORMIGONES

Cementos

Desde 1948, los cementos empleados en Chile son casi exclusivamente de fabricación nacional. Antes, se empleaban también cementos importados.

Los cementos chilenos producidos hasta mayo de 1960 procedían principalmente de dos fábricas. Hasta 1947 eran de tipo portland². A partir de ese año, se produjo además un cemento con agregado, que fue normalizado³ con el nombre de cemento tipo A, con las mismas exigencias de resistencia que el cemento portland corriente⁴. Desde 1955, la mayor parte de la producción la constituían un cemento tipo portland y un cemento tipo A, cada uno de ellos procedente de una fábrica.

La calidad de los cementos empleados en Chile está sometida a control oficial obligatorio desde 1941². El IDIEM mantiene en las fábricas una inspección permanente que se encarga de la diaria extracción de muestras, en número proporcionado a la producción. También las partidas importadas de cemento son muestreadas, a su llegada al país.

Los métodos de ensayo de cemento de las normas chilenas desde 1941^{2 5 6}, son similares a los establecidos en las normas DIN

* Los números colocados como exponentes corresponden a la lista de referencias al final del artículo.

anteriores a 1942⁷. Las resistencias mecánicas se ensayan en mortero seco, confeccionado con arena normal de granos de un solo tamaño, en proporción cemento:arena igual a 1:3 en peso, con la cantidad de agua necesaria para consistencia de tierra húmeda, compactación enérgica con pisón mecánico y curado en agua hasta el momento del ensayo. La resistencia a la compresión se ensaya en cubos de 7 cm de arista.

La resistencia mínima exigida a la compresión a los 28 días es de 350 kg/cm² para los cementos corrientes^{3 4}; para los de alta resistencia inicial se exige 450 kg/cm².⁴ Si alguna muestra da resistencia inferior a la especificada, se procede al remuestreo, de cuyo resultado puede decidirse el rechazo de la partida.

En la Tabla I se presentan las medias anuales y coeficientes de variación de los cementos corrientes de mayor uso, en los años indicados. Los cementos cumplen ampliamente las resistencias exigidas.

TABLA I

RESISTENCIAS A LA COMPRESION DE CEMENTOS CHILENOS CORRIENTES

Ensayos en mortero a 28 días, según normas INDITECNOR. Resistencia mínima exigida, 350 kg/cm²

Año	Cemento 1			Cemento 2		
	Número de muestras	Resistencia media kg/cm ²	Coefficiente de variación %	Número de muestras	Resistencia media kg/cm ²	Coefficiente de variación %
1955	726	453	7,4	524	470	6,9
1956	721	432	7,6	556	478	10,8
1957	542	402	9,6	574	463	12,5
1958	593	451	7,5	682	562	7,8
1959	437	444	7,1	402	561	8,4

1070

Agregados

En Chile, se emplea el agregado grueso con tamaño máximo generalmente de 5 cm (referido a malla de abertura cuadrada).

Ese tamaño se considera⁸ excesivo para la buena colocación del hormigón en vigas, muros, pilares y losas muy armadas de ne-

nos de 25 cm de espesor, en losas poco armadas de menos de 12 cm y entre barras paralelas a menos de 7 cm de distancia libre.

En las provincias de Cautín a Llanquihue, el agregado grueso suele ser de grano rodado: se emplea poco el material chancado. Las arenas se componen, como promedio, de un 85% de agregado fino (bajo tamiz n°4 ASTM) y de un 15% de gravilla; el agregado fino sobrepasa, en una cuarta parte de las muestras ensayadas, el módulo de finura de 3,1, máximo recomendable (arenas demasiado gruesas)⁹. Los agregados proceden generalmente de lechos de ríos, salvo en la provincia de Llanquihue, donde se emplea más material de pozo; suelen ser agregados limpios, aunque se dan excepciones, por ejemplo a veces en Río Negro y Puerto Montt.

En Concepción, los agregados son generalmente limpios. Como agregado grueso se emplea material chancado. Las arenas son de granulometría en principio inaceptable por las normas^{9 10}, por tener granos muy parejos, quedando retenido, como promedio, un 80% de material entre los tamices n°16 y n°50 ASTM, (de 1,2 mm a 0,3 mm).

Confección del hormigón

El hormigón se elabora en mezcladoras: solamente en algunas obras pequeñas se hace todavía el hormigón a mano. Se usan generalmente cementos corrientes. La adición del cemento se hace por un número entero de sacos, que se complementa por una fracción de saco, medida en volumen, si es necesaria para ajustarse a la capacidad de la mezcladora. Se emplean siempre dos agregados, arena y grava, y se miden en volumen: sólo en construcción de represas o en algunas obras grandes se miden los agregados en peso. El hormigón se compacta por medio de barras de hierro, siendo poco usual la vibración en edificaciones.

Inspecciones de obras

El IDIEM tiene laboratorios de ensayo en Concepción desde 1942 y en Osorno desde enero de 1958, que a petición de propietarios, contratistas y organismos oficiales, realizan inspecciones de la elaboración del hormigón en las obras. El laboratorio de Concepción abarca las provincias de Ñuble a Bío-Bío, y el de Osorno, desde Malleco hasta Chiloé: la mayoría de las inspecciones de estos laboratorios corresponden respectivamente a las provincias de Concepción, y a las de Cautín a Llanquihue.

Se presentan recopilaciones de resultados obtenidos por esos laboratorios y se incluyen además los resultados, mucho más numerosos, de controles de obras de Santiago, que también sirven de información, ya que los hormigones del Sur fueron elaborados con los mismos cementos, los mismos métodos de confección, e incluso, a veces por las mismas empresas constructoras de Santiago.

Los ensayos que se presentan corresponden a las condiciones habituales de confección de hormigones para edificación. Están excluidos por lo tanto los pavimentos, represas, elementos prefabricados y una pequeña proporción de obras que emplearon cementos de alta resistencia o vibración.

Trabajabilidad

En la Tabla II se presentan los resultados de ensayos de trabajabilidad de hormigones, según el asentamiento en el cono de Abrams. Estos valores corresponden a hormigón armado y pertenecen a ensayos de muestras con dosis de cemento de 225 kg/m^3 a 340 kg/m^3 .

TABLA II

TRABAJABILIDAD USADA PARA HORMIGON ARMADO

Asentamientos en el cono de Abrams. Compactación manual en obra

Zona*	Período	Número de muestras	Asentamiento medio, cm	Distribución de las muestras		
				0-7cm	7,5-15cm	16-25cm
Santiago	ene 1952-may 1960	3143	9,4	0,38	0,49	0,13
Cautín-Llanquihue	ene 1958-may 1960	109	12,8	0,20	0,45	0,35

* El laboratorio de Concepción no ensayó habitualmente la trabajabilidad.

Las normas^{8 11} recomiendan un asentamiento de 7,5 cm a 15 cm para hormigón armado. La trabajabilidad empleada en la zona de Santiago no es excesiva, ya que solamente hay un 13% de muestras que exceden el límite máximo de 15 cm. En la zona de Cautín a Llanquihue los hormigones son más flúidos, habiendo un 35% de muestras con asentamiento excesivo.

Ensayos de Resistencia

Las muestras de hormigón fresco se toman al pie de la betonera o junto a los moldajes. Con cada muestra se confeccionan tres

cubos de 20 cm de arista. Se emplean moldes de acero; el hormigón se compacta en ellos con una varilla y, si la obra es vibrada, por vibración. Los tres cubos quedan en la obra generalmente de 4 a 6 días, mantenidos bajo agua o arena húmeda. A esa edad son llevados al laboratorio, donde se desmoldan y se conservan al aire en local cerrado, hasta el momento del ensayo. Uno de los cubos se ensaya a 7 días y los otros dos a los 28 días. Cuando la obra está muy alejada del laboratorio, los cubos suelen retirarse de la obra después de los 7 días de edad, por lo que se ensayan los tres cubos a 28 días. El ensayo a compresión se realiza en dirección transversal a la de llenado de los cubos, sin rectificación ni interposición de ningún elemento entre las caras cargadas y los platos de la máquina.

Resistencia de los hormigones

En las Tablas III, IV y V se presentan los resultados de ensayos a compresión, de muestras de hormigón tomadas en las inspecciones de obras. Las dosis de cemento de 140 kg/m^3 y 170 kg/m^3 se emplean en fundaciones simples; las dosis de 225 kg/m^3 y 255 kg/m^3 en cadenas y pilares armados en construcciones de albañilería reforzada; y las dosis de 300 kg/m^3 y 340 kg/m^3 en hormigón armado sometido a cálculo.

TABLA III

RESISTENCIAS DE MUESTRAS DE HORMIGON DE OBRAS DE LA ZONA DE SANTIAGO

Resistencia en cubos a los 28 días de hormigones confeccionados desde enero de 1952 hasta mayo de 1960. Hormigones para edificaciones. Cementos corrientes. Compactación manual en obra.

Dosis nominal de cemento kg/m^3	Número de muestras*	Resistencia media kg/cm^2	Desviación típica kg/cm^2	Coeficiente de variación	Proporción de muestras bajo las resistencias (kg/cm^2) siguientes:			
					40	80	120	160
140	434	77	39	0,51	0,13	0,63	-	-
170	1428	82	41	0,50	0,12	0,55	-	-
225	748	126	58	0,46	-	0,21	0,49	-
255	684	132	58	0,44	-	0,17	0,45	-
300	2128	200	62	0,31	-	-	0,10	0,26
340	1258	201	69	0,34	-	-	0,12	0,28

* Cada muestra se compone generalmente de dos cubos.

TABLA IV

RESISTENCIAS DE MUESTRAS DE HORMIGON DE OBRAS DE LA ZONA DE CONCEPCION

Resistencias en cubos a 28 días de hormigones confeccionados desde enero de 1952 hasta mayo de 1960. Hormigones para edificaciones. Cementos corrientes. Compactación manual en obra.

Dosis nominal de cemento kg/m ³	Número de muestras*	Resistencia media kg/cm ²	Desviación típica kg/cm ²	Coeficiente de variación	Proporción de muestras bajo las resistencias (kg/cm ²) siguientes:			
					40	80	120	160
140	26	73	58	0,79	0,13	0,63	-	-
170	102	90	50	0,56	0,05	0,45	-	-
225	88	128	56	0,44	-	0,12	0,41	-
255	133	153	58	0,38	-	0,07	0,25	-
300	466	205	62	0,30	-	-	0,08	0,23
340	164	215	65	0,30	-	-	0,07	0,23

* Cada muestra se compone generalmente de dos cubos

TABLA V

RESISTENCIAS DE MUESTRAS DE HORMIGON DE OBRAS DE LA ZONA DE CAUTIN A LLANQUIHUE

Resistencias en cubos a los 28 días de hormigones confeccionados desde enero de 1958 hasta mayo de 1960. Hormigones para edificaciones. Cementos corrientes. Compactación manual en obra. Ensayos del Laboratorio de Osorno.

Dosis nominal de cemento kg/m ³	Número de muestras*	Resistencia media kg/cm ²	Desviación típica kg/cm ²	Coeficiente de variación	Proporción de muestras bajo las resistencias (kg/cm ²) siguientes:			
					40	80	120	160
140	25	65	26	0,40	0,13	0,79	-	-
170	73	81	42	0,52	0,10	0,59	-	-
225	41	134	52	0,39	-	0,15	0,42	-
255	38	118	52	0,44	-	0,27	0,57	-
300	62	179	66	0,37	-	-	0,19	0,39
340	47	202	80	0,40	-	-	0,15	0,30

* Cada muestra se compone generalmente de dos cubos

Se expresa en las Tablas la dispersión de las resistencias por medio de la desviación típica (desviación cuadrática media) y por el coeficiente de variación, que es la relación entre la desviación típica y la media. Se indican además las proporciones de muestras que quedan bajo determinadas resistencias.

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan, como ejemplo, las distribuciones de resistencias de los hormigones de 300 kg/m^3 . Se ha trazado en cada caso la curva de Gauss correspondiente (distribución normal). Los diagramas de la parte inferior de las figuras representan la proporción de muestras que quedan bajo cada valor de la resistencia; su escala de ordenadas se ha elegido de modo que, si la distribución es normal, los puntos deben ajustarse a una línea recta: el ajuste es aceptable para las distribuciones de la figura 1 y 3.

En las Referencias se citan otros estudios sobre resistencias de hormigones de obras chilenas, principalmente de la zona de Santiago. ^{12 13 14 15 16}

Dispersión de las resistencias

Las dispersiones indicadas en las Tablas III, IV y V son mayores que las corrientes en las obras aisladas, ya que en aquéllas están incluidas además las diferencias de resistencia entre distintas obras.

Para el método habitual de elaboración del hormigón en Chile, con medición de los agregados en volumen, el coeficiente de varia

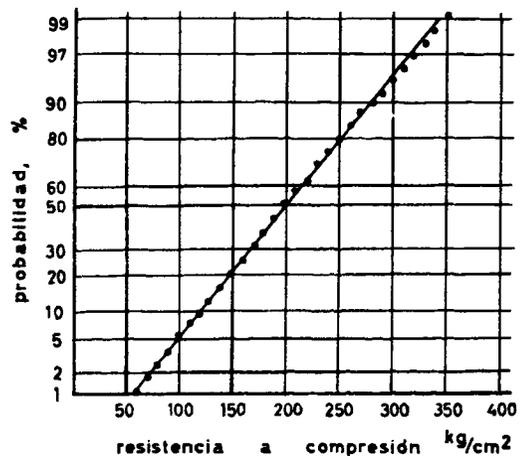
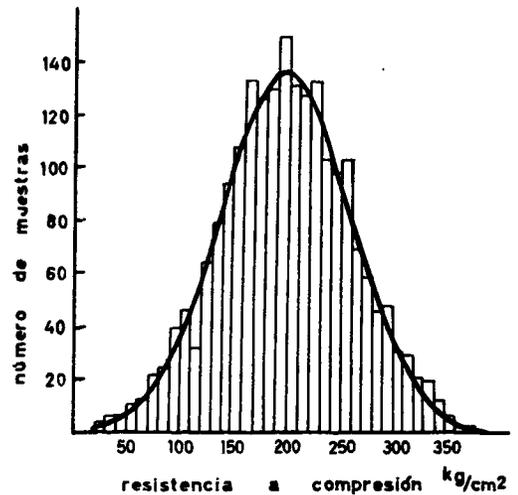


FIG. 1. Zona de Santiago. Distribución de resistencias a 28 días de hormigón para edificaciones, con dosis nominal de cemento de 300 kg/m^3 . Muestras tomadas en obras desde enero de 1952 hasta mayo de 1960. (Véase Tabla III). Las resistencias se ajustan a la distribución normal

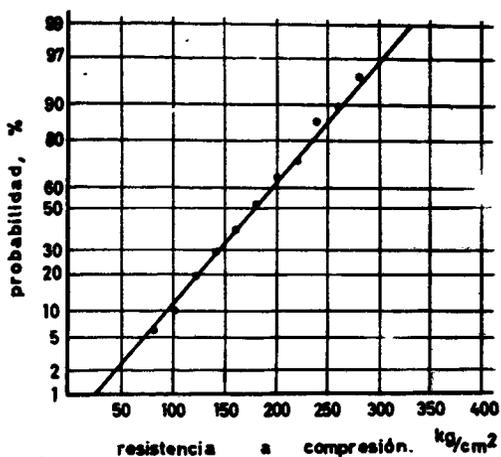
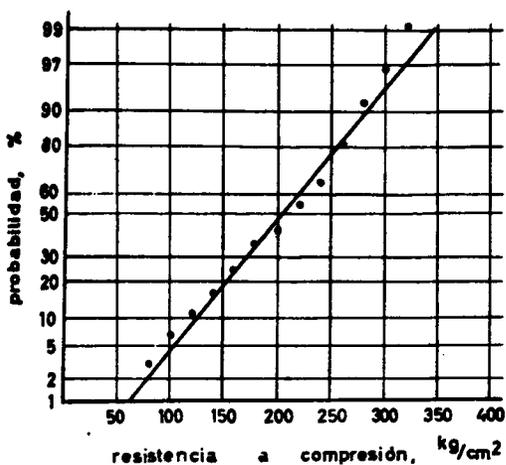
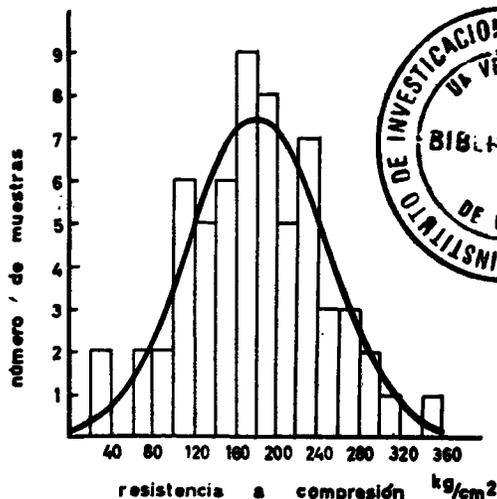
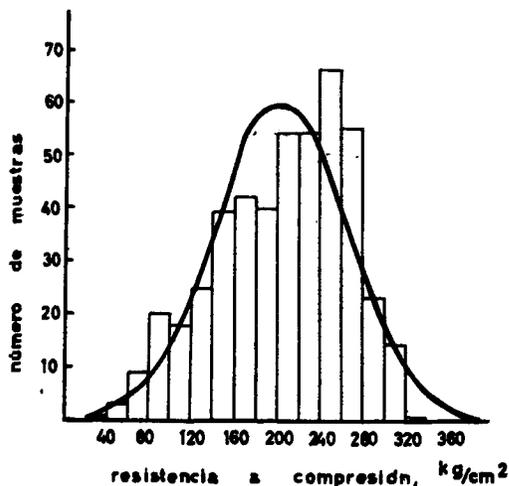


Fig. 2. Zona de Concepción. Distribución de resistencias a 28 días de hormigón para edificaciones, con dosis nominal de cemento de 300 kg/m³. Muestras tomadas en obras desde enero de 1952 hasta mayo de 1960. (Véase Tabla IV). Las resistencias no se ajustan a la distribución normal.

Fig. 3. Zona de Cauquín a Llanquihue. Distribución de resistencias a 28 días de hormigón para edificaciones, con dosis nominal de cemento de 300 kg/m³. Muestras tomadas en obras desde enero de 1958 hasta mayo de 1960. (Véase Tabla V). Las resistencias se ajustan a distribución normal.

ción, v , depende de la resistencia media, \bar{R} , según la expresión empírica.

$$v = 0,984 - 0,316 \log \bar{R} \quad (1)$$

de modo que el coeficiente de variación es menor para mayor resistencia media¹⁵; por ejemplo, para $\bar{R} = 100 \text{ kg/cm}^2$, $v = 0,35$ y para $\bar{R} = 200 \text{ kg/cm}^2$, $v = 0,26$.

Los valores de v obtenidos por la fórmula son los promedios calculados, es decir los más probables para el método habitual de elaboración; pero el coeficiente de variación depende además del mayor o menor cuidado de la obra.

Los coeficientes de variación de las obras corrientes son del orden de los que se obtienen en otros países cuando también

se emplea el método de medición de los agregados en volumen. 17 18 19 20

En construcción de caminos, en Chile, también se suelen medir los agregados en volumen, pero se tiene un control más cuidadoso que en edificaciones, obteniéndose menores dispersiones. De 1950 a 1958, los coeficientes de variación eran del orden de 18% para resistencias medias de unos 240 kg/cm^2 . En obras con planta de dosificación en peso se obtuvieron coeficientes de variación medios de 10% para resistencias medias de unos 200 kg/cm^2 , habiéndose llegado en una obra controlada por el IDIEM a un coeficiente de variación de $7,5\%^{15}$.

ESPECIFICACIONES

Normas de cálculo de hormigón armado y ordenanzas de construcciones

En 1952, se aceptaron como normas oficiales de Chile²¹, las normas de cálculo de hormigón armado establecidas en Prusia en 1907^{22 23}. El Consejo de Obras Públicas aprobó en 1926 nuevas normas²³, para la edificación fiscal, basadas en las alemanas de 1916 y 1925. En 1933, se establecieron nuevas normas oficiales²⁴ también basadas en las normas alemanas. Las normas de 1933 estuvieron vigentes hasta junio de 1957, fecha en que fue aprobada la primera parte de la norma actual²⁵, que procede principalmente de la norma DIN 1045 de 1952²⁶.

La Ordenanza General de Construcciones fue aprobada en 1930, 1942 y 1947²⁷. En la ordenanza se imponen exigencias de calidad de los materiales y dimensiones mínimas de elementos no sometidos a cálculo²⁸.

En la Ordenanza Especial de Construcciones Económicas²⁹ de 1944, se disminuyen algunas de las exigencias establecidas en la Ordenanza General.

Tensiones admisibles

Como una indicación de las tensiones admisibles de cálculo de las sucesivas normas chilenas, se dan en la Tabla VI las tensiones de flexión y de esfuerzo de corte. Según la norma de 1933, se calculaba a flexión con 40 kg/cm^2 , permitiéndose 50 kg/cm^2 en algunos casos, como en vigas rectangulares y en losas de armadura cruzada; estas tensiones se aumentaban en 10 kg/cm^2 si

se empleaban cementos de alta resistencia. No se indicaban en la norma tensiones especiales bajo acción sísmica, pero se solían aumentar a criterio del calculista.

La norma actual especifica diferentes tensiones admisibles según la clase de hormigón y tipo de elemento; los valores que se dan en la Tabla VI son los extremos para cada clase. Cuando se considera acción sísmica, las tensiones admisibles se aumentan alrededor de un 15%.

Las tensiones admisibles de las normas de 1926 y 1933 (cementos corrientes) equivalían en general a las que se especifican en la norma actual para el hormigón de 120 kg/cm².

Dosis mínimas de cemento

En la Tabla VII se indican las dosis mínimas exigidas por las normas. Las dosis establecidas para hormigones controlados en las normas de cálculo corresponden a las mínimas que se consideran necesarias para la protección de las armaduras. Las dosis para hormigones no controlados se establecen además con el fin de asegurar las resistencias correspondientes.

Los pilares, dinteles y cadenas de hormigón armado en construcciones de albañilería reforzada se dimensionan según las Or-

TABLA VI

TENSIONES ADMISIBLES DEL HORMIGON PARA FLEXION Y PARA ESFUERZO DE CORTE EN NORMAS CHILENAS ANTIGUAS Y EN LA NORMA ACTUAL

Norma Año	Resistencia mínima 28 días	Tensiones flexión		Tensiones corte	
		kg/cm ²	para acción sísmica kg/cm ²	kg/cm ²	para acción sísmica kg/cm ²
1926	160	40	(^a)	4	(^a)
1933	120	40 - 50	(^a)	4-6	(^a)
1933	160 ^b	50 - 60	(^a)	4-6	(^a)
1957	120	40 - 50	45 - 60	4-6	-
1957	160	50 - 80	60 - 90	6-8	7-9
1957	180	55 - 85	65 -100	6,5-8,5	7,5-9,5
1957	225 ^c	70 - 100	80 -115	7-9	8-10,5
1957	300 ^c	90 - 120	100 -140	8-10	9-12

^a No se consideran tensiones especiales para acción sísmica

^b Cementos de alta resistencia

^c Hormigones oficialmente controlados

TABLA VII

DOSIS MÍNIMAS DE CEMENTO EN NORMAS CHILENAS

Empleo	Resistencia mínima 28 días kg/cm ²	Dosis mínima en hormigón			
		no controlado		controlado	
		intemperie kg/m ³	protegido kg/m ³	intemperie kg/m ³	protegido kg/m ³
Hormigón armado. Norma 1926. No vigente	160	283	283	283	283
Hormigón armado. Norma 1933. No vigente	120	300	270	300	270
Hormigón armado. Norma 1933. No vigente	160 ^a	300	270	300	270
Fundaciones continuas simples ^b	40 ^c	140 ^d	140 ^d	127,5 ^c	127,5 ^c
Fundaciones y sobrecimientos simples	40 ^c	170 ^d	170 ^d	127,5 ^c	127,5 ^c
Pilares y cadenas albañilería reforzada ^e	(f)	225	225	225	225
Pilares y cadenas albañilería reforzada	(f)	255	255	255	255
Hormigón armado. INDITECNOR 1957	120	270	270	270	240
Hormigón armado. INDITECNOR 1957	160	300	300	270	240
Hormigón armado. INDITECNOR 1957	180	340	340	270	240
Hormigón armado. INDITECNOR 1957	225	(g)	(g)	270	240
Hormigón armado. INDITECNOR 1957	300	(g)	(g)	270	240

^a Cementos de alta resistencia

^b Para construcciones económicas hasta de dos pisos²⁹

^c Norma INDITECNOR para hormigón simple¹¹

^d Sin considerar el efecto del material desplazador

^e Construcciones económicas²⁹

^f No se especifica resistencia

^g Control oficial obligatorio

denanzas, sin someterse a cálculo de estabilidad. La Ordenanza General les exige una dosis mínima de cemento de 255 kg/m³, y la Ordenanza Especial para Construcciones Económicas, 225 kg/m³. No están especificadas las resistencias mínimas exigibles al hormigón.

Para fundaciones y sobrecimientos simples, sin armar, las Ordenanzas exigen una dosis mínima de cemento de 170 kg/m³. La Ordenanza Especial permite 140 kg/m³ en fundaciones continuas para construcciones de hasta dos pisos. Estas dosis se entienden sin contar el material desplazador que pueda emplearse en fundaciones. La norma INDITECNOR¹¹ permite una dosis mínima de cemento de 127,5 kg/m³ para hormigón simple, controlado, y exige una resistencia de 40 kg/cm².

GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LAS RESISTENCIAS ESPECIFICADAS

Criterio de resistencia especificada

De dos hormigones con igual resistencia media, el de mayor dispersión ofrece menos seguridad, ya que tiene mayor proporción

de resistencias bajas. Por lo tanto, la resistencia media no es por sí sola criterio suficiente para caracterizar la calidad del hormigón de una obra: debe considerarse además la influencia de la dispersión.

Las especificaciones de las normas chilenas indican resistencias mínimas. Esta denominación no debe tomarse en su sentido estricto, y es necesario fijar una fracción defectuosa o proporción tolerable de muestras bajo la resistencia especificada. En las normas INDITECNOR no se define esa proporción, ni tampoco en la norma DIN que ha servido de base a las normas chilenas.

El Comité Europeo del Hormigón³⁰ define como resistencia característica a la media de la mitad más baja de los valores, es decir de los valores inferiores a la mediana o valor central. De esa manera se tiene en cuenta conjuntamente la media y la dispersión. La misma definición se encuentra en normas españolas³¹ y francesas³²; en ellas, se especifica el hormigón por su resistencia característica.

En general, la distribución de las resistencias del hormigón no difiere significativamente de la curva normal o de Gauss. En esta hipótesis,

$$R_c = \bar{R} (1 - 0,8 v) \quad (2)$$

siendo R_c = resistencia característica; \bar{R} = media y v = coeficiente de variación. Con ello, el establecer que la resistencia característica sea igual o mayor que la especificada, se acepta una fracción defectuosa del 21%.

En Estados Unidos, el Bureau of Reclamation permite una fracción defectuosa de 20%, para todo tipo de obras^{33, 34}. El American Concrete Institute³⁵ acepta una fracción defectuosa del 10%, que en distribución normal hace que

$$R_c = \bar{R} (1 - 1,28 v)$$

Para los efectos del presente estudio, y por proceder la norma chilena de una norma europea, se adopta la definición de resistencia característica del Comité Europeo y se interpretan resistencias mínimas de las normas chilenas como resistencias características.

Resistencias características de las obras

Adoptado el criterio de resistencia especificada, se indican

en la Tabla VIII las resistencias medias que son necesarias para cumplir las especificadas en las normas INDITECNOR cuando se trabaja en las condiciones habituales de elaboración, con medición de los agregados en volumen. Se puede observar cómo los coeficientes de variación son mayores para las resistencias medias más bajas. Los valores de la Tabla se han deducido de las fórmulas(1) y(2).

En la Tabla IX se dan los valores promedios de las resistencias características de las obras construídas de 1952 a 1960. Esos valores pueden servir como estimación de las resistencias características más probables de aquellas obras en que, no disponiendo de otros antecedentes, pueda suponerse que el hormigón fue elaborado en las condiciones habituales medias.

Las resistencias características de la Tabla IX se han calculado según la fórmula(2), en función de las medias y de los coeficientes de variación: como resistencias medias, se han tomado las deducidas en las Tablas III, IV y V; como coeficientes de variación, los obtenidos por la fórmula(1) para las medias correspondientes. Para estructuras de hormigón armado, se han considerado las dosis de 300 kg/m³ y 340 kg/m³, que fueron las habituales, aun cuando las normas (Tabla VII) permiten dosis menores de cemento; solamente en construcciones calculadas según la norma INDITECNOR se emplearon a veces dosis de 270 kg/m³ en hormigones controlados.

Las resistencias de la Tabla IX se refieren a ensayos a los

TABLA VIII

RESISTENCIA MEDIAS NECESARIAS PARA CUMPLIR DETERMINADAS RESISTENCIAS ESPECIFICADAS

Procedimientos habituales de trabajo en Chile en obras de edificación con medición de los agregados en volumen

Resistencia especificada kg/cm ²	Coefficiente de variación	Resistencia media kg/cm ²
40	0,42	60
80*	0,34	110
120	0,29	155
160	0,26	200
180	0,24	225
225	0,21	275

* Valor no indicado en las normas.

TABLA IX

RESISTENCIAS CARACTERISTICAS PROBABLES, A 28 DIAS, DE LOS HORMIGONES EMPLEADOS EN LAS OBRAS

De 1952 a mayo de 1960. Cementos corrientes, medición de los agregados en volumen y compactación manual.

Empleo	Cemento Dosis nominal kg/m ³	Resistencias características probables		
		Santiago kg/cm ²	Concepción kg/cm ²	Cautín-Llanquihue kg/cm ²
Fundaciones simples	140-170	60	60	50
Pilares y cadenas en albañilería reforzada	225-255	100	110	100
Estructuras de hormigón armado	300-340	160	170	150

28 días; pero para los efectos de verificación del comportamiento de las construcciones, debe considerarse la resistencia en obra en el momento del terremoto. Esta resistencia depende de la edad del hormigón. Como, por otra parte, los cubos de ensayo fueron compactados y curados en condiciones normalizadas, la resistencia del hormigón de la obra depende también de la compactación empleada en ella y de las condiciones de conservación, por lo que es difícil de estimar; pero en general dependerá fundamentalmente de la edad: por ello, en las obras con más de un año, que son la mayoría, las resistencias características pueden considerarse superiores al menos en un 20% a las estimadas en la Tabla IX.

Comparación de las resistencias obtenidas con las especificadas

Los resultados que se han mostrado, de ensayos de hormigones desde enero de 1952 hasta mayo de 1960, incluyen obras calculadas con la norma de 1933 y con la norma actual, de junio de 1957: éstas debieron de iniciarse probablemente a mediados de 1958. Los valores de las Tablas III, IV, V y IX pueden considerarse igualmente válidos para las obras calculadas por las dos normas, ya que del análisis de los resultados de Santiago se ha visto que las resistencias no variaron sensiblemente entre los dos períodos, de 1952 a mediados de 1958, y desde esa fecha hasta mayo de 1960.

Los hormigones confeccionados hasta mediados de 1958 para estructuras de hormigón armado pertenecen a obras calculadas sobre la base de una resistencia de 120 kg/cm² a los 28 días; los con-

feccionados en los dos años siguientes, con cementos corrientes y compactación manual, corresponden a cálculos referidos generalmente a 160 kg/cm^2 y en algunos casos a 120 kg/cm^2 . Los valores promedios de resistencias características de la Tabla IX son de 150 kg/cm^2 a 170 kg/cm^2 , lo que indica un cumplimiento holgado en el primer período y suficiente para las obras medias del segundo período.

El grado de cumplimiento de las resistencias para estructuras de hormigón armado pueden examinarse también en los resultados generales de las Tablas III, IV y V, para las dosis de cementos de 300 kg/m^3 y 340 kg/m^3 . La fracción defectuosa de 21%, aceptada para obras aisladas, queda en general entre 120 kg/cm^2 y 160 kg/cm^2 . Si se comparan los resultados de esas Tablas con los de la Tabla IX, que son de obras aisladas medias, debe considerarse que, en los resultados generales, las fracciones defectuosas vienen aumentadas por la mayor proporción de muestras con resistencia baja aportadas por las obras con menor resistencia característica.

No solamente tiene interés examinar el grado de cumplimiento de las resistencias especificadas, sino también compararlo con el obtenido en otros países. En la Tabla X se muestran resultados de Francia, Austria y Alemania. Se puede observar en ellos,

TABLA X

COMPARACION DE LAS RESISTENCIAS OBTENIDAS CON LAS ESPECIFICADAS PARA EL HORMIGON EN VARIOS PAISES

Referencia	País	Período	Número de muestras	Dosis nominal de cemento kg/m^3	Edad días	Resistencia media kg/cm^2	Resistencia especificada kg/cm^2	Desviación típica kg/cm^2	Coefficiente de variación	Fracción defectuosa bajo la resistencia especificada
L'Hermite ¹⁸	Francia	1935-1938	4500	300	90	276	200	86	0,31	0,10
L'Hermite	Francia	1947-1948	-	300	90	255	200	69	0,27	0,21
L'Hermite	Francia	1947-1948	-	350	90	243	225	68	0,28	0,37
L'Hermite	Francia	1947-1948	-	400	90	259	256	88	0,34	0,49
Schaden ³⁷	Austria	1956-1958	60	-	28	165	120	44	0,27	0,15
Schaden	Austria	1956-1958	125	-	28	212	160	67	0,32	0,22
Schaden	Austria	1956-1958	206	-	28	245	225	78	0,32	0,40
Schaden	Austria	1956-1958	60	-	28	309	300	123	0,40	0,47
Ministerio Vivienda ³⁸	Alemania	1956-1957	89	-	28	-	(e)	-	-	0,44

^a Resistencia que correspondía a la tensión admisible indicada en la norma francesa B.A.45, para la dosis de cemento empleada³⁶.

^b Cada muestra se compone de 3 cubos.

^c Valores calculados con datos de la referencia, suponiendo distribución normal.

^d Muestras de 3 cubos, provenientes de 89 obras diferentes (viviendas).

^e En un 70% de las obras, la resistencia especificada fue de 225 kg/cm^2 ; en un 20%, fue de 160 kg/cm^2 .

en primer lugar, que las mayores resistencias especificadas se cumplen más defectuosamente; y para las especificaciones más bajas, del orden de las empleadas en Chile, el grado de cumplimiento es similar al de las obras chilenas.

RESISTENCIA DEL HORMIGON DE ALGUNAS OBRAS DAÑADAS

Resultados de los ensayos

La información que se posee procede de ensayos de muestras tomadas durante la construcción de algunas obras que resultaron dañadas, y de testigos extraídos después de los terremotos.

La extracción de testigos se hizo con cincel, obteniéndose trozos de hormigón de dimensiones suficientes para poder elaborar con ellos una o dos probetas no perturbadas. A las probetas se les dio forma aproximadamente cúbica; las caras que habían de recibir la carga de los platos de la máquina fueron rectificadas con mortero o con una mezcla de azufre, arena fina y grafito, de modo que quedaran paralelas entre sí y normales al eje de la probeta.

En las Tablas XI y XII se presenta toda la información disponible, dando la resistencia media y la característica de las obras. Debe considerarse que estos valores son tanto más imprecisos cuanto menor es el número de muestras o testigos ensayados. Cuando este número es menor que 10, el coeficiente de variación se ha estimado por la fórmula (2).

Si se quiere considerar la resistencia del hormigón en el momento del terremoto, son válidos los resultados de testigos; en cuanto a los ensayos de muestras, que son a 28 días, deberán ser aumentados consiguientemente. Como excepción, debe citarse la obra n° 1, de Concepción, que resultó dañada en zonas donde había hornigones con menos de 28 días y hasta con sólo dos días de edad.

Observaciones

Las obras n° 3, 4 y 5 de Concepción, son edificios en los que fallaron los estanques colocados sobre el último piso; fallo

TABLA XI

RESISTENCIAS A 28 DIAS DE MUESTRAS DE HORMIGÓN TOMADAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE ALGUNAS OBRAS QUE FUERON DAÑADAS POR LOS TERREMOTOS

Resistencias a la compresión de cubos de 20 cm de arista

Nº	Obra	Período confección ^a		Cemento dosis nominal	Número de mues- tras ^b	Resis- tencia media	Coeffi- ciente varia- ción ^c	Resistencia caracterís- tica
				kg/m ³		kg/cm ²		kg/cm ²
1	Concepción: Edificio FIUC	2-58	1-60	280	22	210	0,24	170
2	Concepción: Mercado Lorenzo Arenas, pilares ^d	3-59	4-59	240-300	2	94	0,36	70
2	Concepción: Mercado Lorenzo Arenas, losa	4-59	6-59	340	2	201	0,26	160
3	Concepción: Caja Previsión Defensa Nacional	4-59	10-59	300	16	259	0,18	220
4	Concepción: Edificio calle Freire	2-60	2-60	270	2	172	0,28	130
5	Coronel : Población Camilo Olavarría	6-59	5-60	300	16	192	0,30	150
6	Valdivia : Estanque Elevado Bueras	2-58	5-59	340-380 ^e	51	309	0,18	260
7	Valdivia : Hospital Traumatológico	12-58	3-59	300	4	231	0,24	190
8	Osorno : Paso Superior Chullaca	8-58	10-58	340	3	318	0,19	270

^a Fechas (mes y año) del primero y del último ensayo^b Cada muestra está compuesta de dos o tres cubos^c Cuando el número de muestras es menor que 10, el coeficiente de variación se ha calculado por la fórmula 1^d Ver Tabla XII^e Cemento de alta resistencia

de los últimos pisos hubo en las obras nº 1 y 3. La obra nº 9, Edificio Consistorial de Concepción, fue construída en 1917 con planos estructurales que databan de 1914; los muros no son propiamente de hormigón armado, sino que están formados por piés derechos, soleras, carreras y diagonales de perfiles metálicos con relleno de hormigón.

Del Mercado Lorenzo Arenas de Concepción, obra nº 3, se tomaron solamente cuatro muestras y un testigo: de las muestras, dos proceden de la losa; las otras dos y el testigo, de los pilares. Los resultados se detallan a continuación en atención al interés que se ha tomado³⁹ por la resistencia del hormigón de esta obra para el cálculo de la aceleración horizontal del terremoto: Una de las muestras de pilares, con dosis nominal de cemento de 300 kg/m³, tenía una resistencia de 119 kg/cm²; la otra, posterior, con dosis de 240 kg/m³, dió solamente 69 kg/cm²: es posible que esta muestra proceda de pilares del muro de albañilería reforzada que cierra la construcción. Estas resistencias serían probablemente de 155 kg/cm² y 90 kg/cm² en el momento del terremoto. El testigo, no perturbado, fue extraído de la zona dañada, entre marquesina y techo, de uno de los pilares exteriores; se prepararon con él tres probetas, que dieron una me-

TABLA XII

RESISTENCIAS DE TESTIGOS DE HORMIGON ENDURECIDO EXTRAIDOS DE OBRAS DAÑADAS POR LOS TERREMOTOS

Resistencias a la compresión, a la edad de ensayo, y referidas a cubos de 20 cm de arista

N°	Obra	Número de testigos	Resistencia media kg/cm ²	Coefficiente de variación	Resistencia característica kg/cm ²
9	Concepción: Edificio Consistorial, muros	4	97	0,36	70
2	Concepción: Mercado Lorenzo Arenas, pilar ^b	1	89	0,36	60
10	Valdivia : Hospital Regional, losas	24 ^c	201	0,22	160
10	Valdivia : Hospital Regional, muros exteriores	5 ^c	165	0,28	130
10	Valdivia : Hospital Regional, muros interiores	23 ^c	121	0,32	90
7	Valdivia : Hospital Traumatológico ^b	7	280	0,21	230
11	Osorno : Grupo Habitacional Municipalidad	4	134	0,31	100
12	Río Negro : Municipalidad	4	95	0,36	70
13	Río Negro : Edificio Servicios Públicos	2	222	0,24	180
14	Río Negro : Casa Gobernador	2	184	0,27	140
15	Río Negro : Grupo Escolar. Cuerpo B	2	262	0,22	220
16	Río Negro : Grupo Escolar Casa Director. Pilares	2	169	0,28	130
17	Purranque : Casa Consistorial	3	217	0,25	170
18	Frutillar : Bodega Estación Ferrocarril	3	145	0,30	110
19	Puerto Montt: Hospital Regional, muros ^d	2 ^c	26	0,54	20
19	Puerto Montt: Hospital Regional, muros	2	163	0,28	130
20	Puerto Montt: Hotel Pérez Rosales	4	220	0,24	180
21	Puerto Montt: Mercado Municipal	1	220	0,24	180

^a Cuando el número de testigos es inferior a 10, el coeficiente de variación se ha estimado por la fórmula 2.

^b Vease Tabla XI

^c Con cada testigo se prepararon 2 probetas.

^d Las dos líneas de igual denominación corresponden a dos zonas diferentes.

dia de 89 kg/cm². Con esta información conjunta se puede suponer que la resistencia característica de los pilares, en el momento del terremoto, fué de 80 kg/cm² a 90 kg/cm², aunque este resultado tiene la imprecisión inherente al pequeño número de ensayos.

El Hospital Regional de Valdivia fue proyectado en 1935. La dosificación especificada para losas, vigas y muros exteriores era 1:2:4 en volumen; para los muros interiores, 1:3:6. Los testigos corresponden a los distintos pisos y a los cuerpos oriente, poniente y Torre Médica.

De la misma época que el de Valdivia es el Hospital Regional de Puerto Montt. Los dos grupos de testigos que se dan en la Tabla XII corresponden a dos zonas distintas del edificio; los de media 163 kg/cm² proceden del Cuerpo Sur, 2° piso; otros tes-

tigos de la misma procedencia se disgregaron al tratar de preparar probetas.

Las obras n° 11, 16 y 18 eran construcciones de albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado: la n° 18 era un galpón de un piso, y las n° 11 y 16 eran casas de dos pisos con losa de hormigón armado.

Interpretación de los resultados

De los hormigones ensayados, los pertenecientes a obras cuya construcción fue iniciada entre 1950 y 1958 cumplen satisfactoriamente la resistencia especificada, que era de 120 kg/cm²: tal es el caso de las obras n° 13, 14, 17, 20 y 21.

Las estructuras de hormigón armado iniciadas entre 1958 y 1960 fueron calculadas generalmente sobre la base de una resistencia de 160 kg/cm²; las obras 7, 8 y 14, con 180 kg/cm²; y con resistencia superior la obra n° 6. En general, las resistencias obtenidas en este período cumplen o al menos no son notablemente inferiores a las especificadas: así sucede con las obras n° 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 15; excepción la obra n° 2, en la que el hormigón de pilares queda muy por debajo de la resistencia especificada. En la obra n° 1 debe considerarse que resultaron dañados hormigones con menos de 28 días de edad.

Los hormigones ensayados de las obras n° 11, 16 y 18 corresponden a pilares y cadenas en albañilería reforzada; su resistencia era la habitual en este tipo de construcción (véase Tabla IX).

Entre las obras examinadas, las más antiguas (n° 9, 10, 12 y 19) tienen hormigones con resistencias más bajas que las generalmente obtenidas en obras posteriores. No obstante, conviene examinar si esas resistencias cumplen con las especificaciones que se habían establecido: En el Hospital Regional de Valdivia (obra n° 9 las resistencias están de acuerdo con las dosis de cemento prescritas, incluso las resistencias más bajas, que son de muros interiores, para los cuales se habían indicado dosis de cemento más reducidas: por lo tanto, en esta obra, en lo que respecta a la calidad del hormigón, no hubo un defecto de construcción; por otra parte, en losas, vigas y muros exteriores se tenían, en el momento del terremoto, resistencias superiores a 120 kg/cm², que era la considerada en las normas vigentes en

la época, y posiblemente con las mismas especificaciones, es el Hospital Regional de Puerto Montt (obra n° 19): los hormigones ensayados pertenecen a muros interiores, y su resistencia, al menos en una de las zonas ensayadas, es muy baja e inferior a las especificaciones: hay un defecto evidente en la elaboración de estos hormigones que, por lo demás, tenían un agregado grueso de tamaño excesivo y el aspecto de estar compuestos con agregados sucios. De la obra n° 12, Municipalidad de Río Negro, no se tienen otros antecedentes, pero sus bajas resistencias pueden adjudicarse también a una mala construcción. Los hormigones ensayados de la obra n° 9, Edificio Consistorial de Concepción, pertenecen a relleno de muros, con una dosificación especificada que vendría a dar en cemento unos 225 kg/m^3 : las resistencias son inferiores a lo que actualmente se obtendrían con la misma dosis, pero debe considerarse la peor calidad de los cementos en la época de construcción de esta obra (hacia 1917).

En resumen, se puede decir que los hormigones correspondientes a obras dañadas tienen resistencias del mismo orden que las habituales y cumplen en general las especificaciones de las obras o al menos no quedan muy por debajo de ellas: son excepciones las obras n° 2, 12 y 19, con resistencias muy inferiores a las especificadas.

ACERO

Especificaciones

El acero en barras para hormigón armado, empleado en Chile, está sometido a control oficial desde 1940⁴⁰; y desde 1936, el destinado a obras fiscales⁴¹: El control se ejerce sobre el acero nacional o importado, si bien, desde 1950, el acero es casi exclusivamente de producción nacional.

Hasta mayo de 1960, el acero empleado en hormigón armado en el Sur de Chile era casi únicamente acero liso. Sus especificaciones, desde 1940 hasta enero de 1960, eran las siguientes: resistencia a la tracción (carga máxima), 37 kg/mm^2 ; límite de fluencia, superior a 48% de la carga máxima; alargamiento en ro-

tura, medido sobre 20 cm, superior al 18%; coeficiente de calidad (producto de la carga máxima en kg/mm^2 por el porcentaje de alargamiento en rotura), dependiente del diámetro y superior a 800 para diámetros mayores de 10 mm; diámetro para el ensayo de dobladura en frío, 1,5 veces el de la barra si éste mayor de 12 mm; tolerancia en el diámetro, 0,75 mm para diámetros entre 12 mm y 25 mm.

Desde 1940, la inspección del IDIEM extrae muestras en las plantas laminadoras por cada turno de fabricación; si alguna muestra no cumple las especificaciones, se hace un remuestreo, del que puede resultar el rechazo del lote correspondiente. El número de muestras es proporcionado a la producción: así, hasta enero de 1960, y para diámetros entre 10 mm y 26 mm, se tomaba una muestra por cada 100 barras o fracción y, en todo caso, un número no inferior a tres.

En la norma INDITECNOR de enero de 1960⁴², se modifican algunas especificaciones del Decreto de 1940: en particular, se exige de límite de fluencia 24 kg/mm^2 para el acero de 37 kg/mm^2 de resistencia a la tracción (acero A 37-24 H).

En las normas de cálculo de 1926²³ y 1933²⁴ se admitían para

TABLA XIII

RESISTENCIAS A LA TRACCION Y LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE ACERO
LISO PARA HORMIGON ARMADO. FABRICA A. PRODUCCION DE 1959

Acero A 37-24H

Diámetro mm	Número de ensayos	Resistencia media		Coeficiente variación		Resistencia característica	
		Tracción kg/mm^2	Fluencia kg/mm^2	Tracción %	Fluencia %	Tracción kg/mm^2	Fluencia kg/mm^2
6	336	49,9	38,8	3,9	5,5	48,7	37,2
8	148	46,2	34,9	3,9	5,4	44,8	33,5
10	225	44,8	34,0	4,8	6,0	43,3	32,4
12	207	45,8	36,0	3,6	4,4	44,6	34,7
16	118	43,9	32,1	5,6	5,2	41,9	30,8
18 - 20	83	44,8	32,0	6,5	9,3	42,8	30,2
22 - 26	108	44,2	30,0	4,8	6,5	42,6	28,5
28 - 50	16	41,8	28,8	8,4	4,9	40,8	27,7

TABLA XIV

RESISTENCIAS A LA TRACCION Y LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE ACERO
LISO PARA HORMIGON ARMADO. FABRICA B. PRODUCCION DE 1959

Acero A 37-24H

Diámetro mm	Número de ensayos	Resistencia media		Coeficiente variación		Resistencia característica	
		Tracción kg/mm ²	Fluencia kg/mm ²	Tracción %	Fluencia %	Tracción kg/mm ²	Fluencia kg/mm ²
6	57	51,0	38,3	5,0	4,6	48,9	37,2
8	105	46,8	35,5	5,4	5,7	45,1	33,9
10	133	45,4	34,9	5,6	7,2	43,8	33,3
12	113	46,8	37,5	5,5	5,2	44,9	36,0
16	63	47,7	36,8	6,8	7,1	45,3	34,1
18 - 20	16	49,1	35,8	4,8	7,4	47,2	33,8
22 - 26	29	45,8	32,5	4,2	9,1	44,2	30,1
28 - 50	5	44,0	30,6	5,2	7,4	42,0	28,4

TABLA XV

RESISTENCIAS A LA TRACCION Y LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE ACERO
LISO PARA HORMIGON ARMADO. FABRICA C. PRODUCCION DE 1959

Acero A 37-24H

Diámetro mm	Número de ensayos	Resistencia media		Coeficiente variación		Resistencia característica	
		Tracción kg/mm ²	Fluencia kg/mm ²	Tracción %	Fluencia %	Tracción kg/mm ²	Fluencia kg/mm ²
6	65	46,5	31,0	9,0	10,6	43,6	28,7
8	30	45,4	30,8	10,4	14,4	42,6	28,5
10	70	44,3	29,1	9,2	9,0	41,6	27,0
12	63	45,0	32,9	9,3	13,1	41,8	30,4
16	42	42,4	29,5	6,2	5,6	41,0	28,3
18 - 20	62	42,7	31,1	11,2	16,7	40,0	27,8
22 - 26	3	42,4	29,1	6,5	6,3	40,4	27,7
28 - 50	36	41,5	27,3	7,8	7,1	39,6	26,0

TABLA XVI

FABRICA A. PRODUCCION 1950-1959. LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE
12 mm DE DIAMETRO DE ACERO LIJO PARA HORMIGON ARMADO

Acero A 37-24H

Año	Número de muestras	Resistencia media kg/mm ²	Coefficiente de variación %	Resistencia característica kg/mm ²
1950	97	34,9	5,1	33,4
1951	102	34,4	4,6	33,2
1952	81	34,7	4,7	33,5
1953	84	35,2	5,4	34,0
1954	80	35,4	6,7	33,6
1955	98	36,0	4,9	34,6
1956	72	35,7	5,2	34,4
1957	99	35,6	4,0	34,5
1958	232	35,6	4,2	34,5
1959	207	36,0	4,4	34,7

el acero tensiones de 1200 kg/cm²; en la norma actual, de junio de 1957²⁵, la tensión admisible a la tracción para el acero A 37-24 H es de 1200 kg/cm² con hormigón de 120 kg/cm², y de 1400 kg/cm² con hormigones de mayor resistencia.

Desde antes de mayo de 1960, se producen otros tipos de acero, como revirado, con resaltes y acero liso A 44-28 H; pero se emplearon en pequeña proporción en el Sur de Chile.

Resultados

En las Tablas XIII a XIX se dan resultados de ensayos de control de acero liso de tres fábricas chilenas, que produjeron la casi totalidad del empleado en el país. Los resultados que se examinan se han tomado al azar dentro del total de ensayos realizados y son por lo tanto sólo una parte de las muestras extraídas por la inspección. En cada caso se indican la resistencia media y el coeficiente de variación.

TABLA XVII

FABRICA B. PRODUCCION 1950-1959. LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE
12 mm DE DIAMETRO DE ACERO LISO PARA HORMIGON ARMADO

Acero A 37-24H

Año	Número de muestras	Resistencia media kg/mm ²	Coefficiente de variación %	Resistencia característica kg/mm ²
1950	81	37,2	4,6	35,9
1951	57	37,7	5,1	36,2
1952	73	38,3	5,4	36,9
1953	107	38,5	4,9	37,1
1954	99	38,7	4,6	37,3
1955	74	40,3	5,1	38,7
1956	95	40,7	6,6	39,0
1957	126	41,4	4,4	39,9
1958	163	37,7	6,2	35,8
1959	113	37,5	5,2	36,0

En las Tablas XIII, XIV, XV se presentan la resistencia a la tracción y el límite de fluencia de la producción de 1959 en los diferentes diámetros; se puede observar cómo las resistencias aumentan al disminuir el diámetro, con excepción sistemática de la disminución de resistencia entre 12 mm y 10 mm. En las Tablas XVI, XVII y XVIII se dan los límites de fluencia de las barras de 12 mm en cada uno de los diez años de 1950 a 1959, valores que se examinan en conjunto en la Tabla XIX y en las figuras 4, 5 y 6.

Las resistencias de las muestras de las partidas aceptadas fueron en todo caso superiores a las especificadas ya que, existiendo el control, se rechazaban las partidas con muestras defectuosas, si es que se daba el caso; pero conviene definir con más precisión la calidad del acero, para lo cual hay que

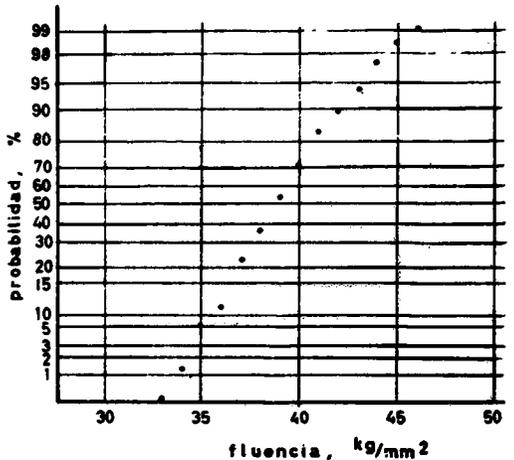
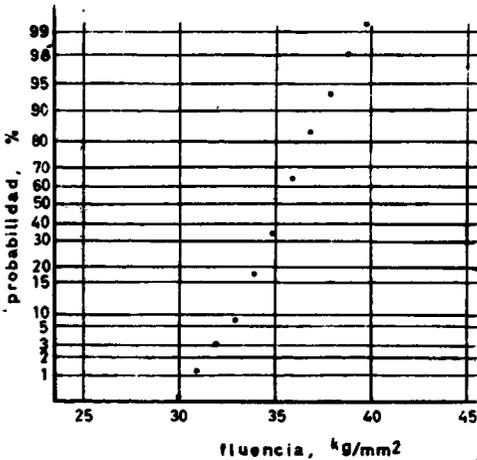
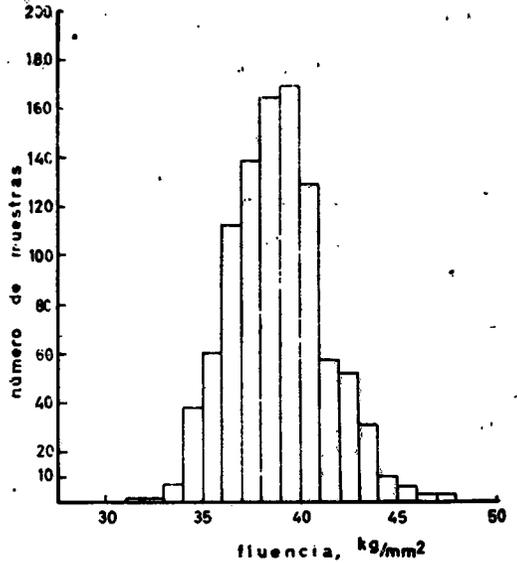
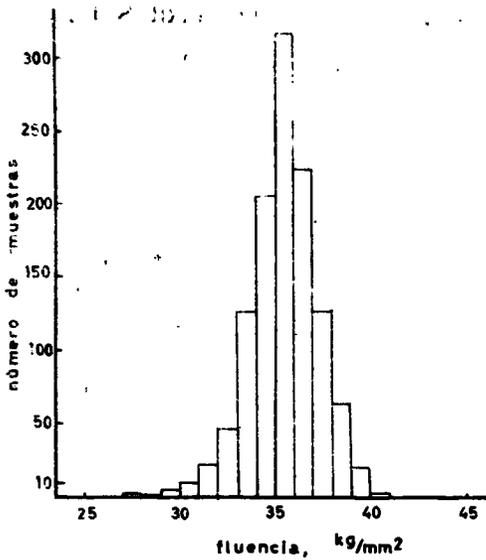


Fig. 4 Fábrica A. Límites de fluencia de barras de acero de 12 mm. Producción 1950-1959. Histograma y gráfico de frecuencias relativas acumuladas. (Véase Tabla XIX).

Fig. 5 Fábrica B. Límites de fluencia de barras de acero de 12 mm. Producción 1950-1959. Histograma y gráfico de frecuencias relativas acumuladas. (Véase Tabla XIX).

fijar un criterio de resistencia mínima, aceptando bajo ésta una determinada fracción defectuosa.

En normas francesas³², se define la resistencia mínima por la fórmula.

$$R \text{ mín} = \bar{R}(1 - 2v)$$

en la que \bar{R} es la resistencia media y v el coeficiente de variación. Si la distribución fuera normal, quedaría una fracción defectuosa de 2,3% bajo la resistencia mínima así calculada. No se ha calculado en las Tablas la resistencia mínima por esa fórmula, ya que a veces las distribuciones son asimétricas de-

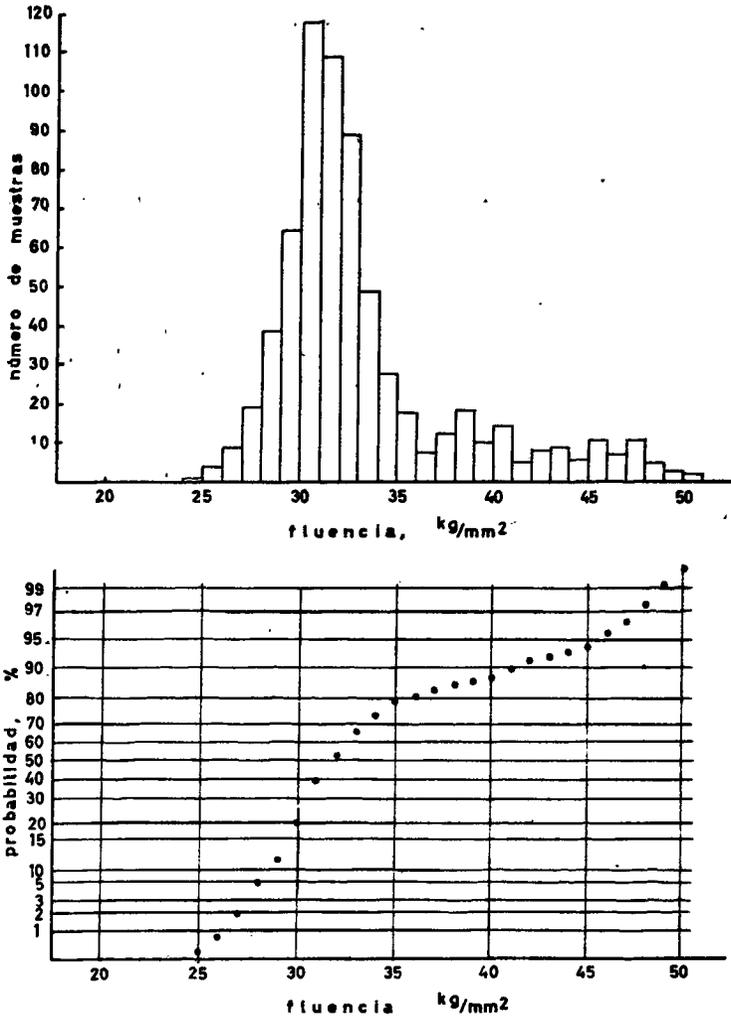


FIG. 6. Fábrica C. Límites de fluencia de barras de acero de 12 mm. Producción 1950-1959. Histograma y gráfico de frecuencias relativas acumuladas. (Véase Tabla XIX).

vido a la presencia de barras con resistencia excepcionalmente alta, por lo que la aplicación de la fórmula daría, en esos casos, una fracción defectuosa mucho menor que 2,3%. En la fig. 6 aparece esta asimetría, que se destaca en la curva de frecuencias acumuladas, la cual debería ser una recta si la distribución fuera normal. Las resistencias mínimas en el límite de fluencia se han calculado gráficamente en las figuras 4, 5 y 6 y aparecen en la Tabla XIX: los valores son en este caso superiores a 24 kg/mm².

El Comité Europeo del Hormigón³⁰ emplea para el cálculo el

TABLA XVIII

FABRICA C. PRODUCCION 1950-1959. LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE 12 mm DE DIAMETRO DE ACERO LISO PARA HORMIGON ARMADO

Acero A 37-24H

Año	Número de muestras	Resistencia media, kg/mm ²	Coefficiente de variación %	Resistencia característica kg/mm ²
1950	31	32,3	13,2	30,1
1951	95	38,5	15,3	33,6
1952	76	38,3	18,4	32,4
1953	81	31,1	10,0	29,2
1954	103	31,8	5,9	30,4
1955	64	31,6	8,4	29,6
1956	79	30,0	7,1	28,3
1957	56	31,9	6,0	30,4
1958	36	32,2	9,5	30,0
1959	63	32,9	13,1	30,4

TABLA XIX

RESISTENCIAS A LA TRACCION Y LIMITES DE FLUENCIA DE BARRAS DE 12 mm DE DIAMETRO DE ACERO LISO PARA HORMIGON ARMADO. FABRICAS A,B,C. PRODUCCION 1950-1959

Acero A 37-24H

Fábrica	Número de ensayos	Resistencia media		Coefficiente de variación		Resistencia característica		Resistencia mínima	
		Tracción kg/cm ²	Fluencia kg/cm ²	Tracción %	Fluencia %	Tracción kg/cm ²	Fluencia kg/cm ²	Tracción kg/cm ²	Fluencia kg/cm ²
A	1152	46,0	35,4	5,6	5,2	44,0	34,1	41,7	31,6
B	988	50,3	38,8	7,2	6,4	48,1	36,9	43,8	34,4
C	684	45,3	33,3	10,5	15,2	41,6	29,9	38,5	27,3

límite de fluencia característico, definido, de la misma manera que la resistencia característica del hormigón, como la media de la mitad más baja de los resultados. Los valores característicos del límite de fluencia y de la resistencia a la tracción se han calculado así y aparecen en las Tablas para que puedan servir de referencia.

COMENTARIO FINAL

Con el fin de caracterizar la calidad del acero en barras y del hormigón empleados en el Sur de Chile, se ha presentado toda la información disponible en el IDIEM, de cuyo análisis se han determinado las resistencias de esos materiales, y en particular del hormigón de algunas obras dañadas. Esos valores pueden servir para los cálculos de verificación del comportamiento de las obras, complementando a las inspecciones visuales hechos después de los terremotos.

Si se quieren analizar los procedimientos de diseño empleados y la calidad de la construcción como posibles causas de los daños sufridos por las obras, entonces la calidad de los materiales debe juzgarse en cuanto a su grado de cumplimiento de las especificaciones. En ese sentido, no hubo baja calidad del cemento ni del acero; y la calidad del hormigón no fue causa de los daños en la mayoría de las obras examinadas, aunque hubo algunos casos en que tuvo que influir decisivamente.

El cemento, y el acero para hormigón armado empleados en Chile están sujetos a un control riguroso, que se hace por inspección oficial, diariamente, en cada fábrica. Los resultados de los controles hasta 1960 demuestran que las resistencias especificadas fueron cumplidas e incluso, por algunas fábricas, sobrepasadas ampliamente.

Del examen de los resultados de ensayos de muestras de hormigón tomadas durante la construcción de las obras, desde enero de 1952 hasta mayo de 1960, se deduce que las resistencias en general cumplían, o no eran muy inferiores a las especificadas; el mejor grado de cumplimiento corresponde generalmente a las obras calculadas hasta mediados de 1957, ya que en

la norma entonces vigente se especificaba una resistencia relativamente baja.

Los hormigones ensayados procedentes de obras dañadas tenían resistencias del mismo orden que las obtenidas habitualmente. No obstante, se registraron varios casos de resistencias bajas, principalmente en las obras más antiguas; en algunas obras, esas resistencias eran muy inferiores a las especificadas y pudieron ser causa de los daños sufridos; pero en ciertos casos, las bajas resistencias correspondían a las especificaciones que, estando expresadas en cantidad de cemento, indicaban para algunas partes de la obra dosis menores que las normalmente empleadas en elementos resistentes.

En la evaluación de la calidad del hormigón se ha prescindido de defectos locales de ejecución, como pueden ser las juntas de hormigonado: éstos y otros defectos de ejecución, y los métodos de diseño, son las causas que en general deben examinarse para estudiar los daños sufridos por el hormigón en las construcciones.

REFERENCIAS

1. TORROJA, E; PAEZ, A. *La determinación del coeficiente de seguridad en las distintas obras*. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid.
2. Ex-MINISTERIO DE FOMENTO. Decreto nº 530 de 8 de febrero de 1941. *Especificaciones generales de los cementos*. Santiago. Chile.
3. INDITECNOR 2.30 - 92 ch. *Cementos especiales tipo A*. 1951.
4. INDITECNOR 2.30 - 27 ch. *Cemento Portland*. 1951.
5. INDITECNOR 2.30 - 34 ch. *Resistencia a la tracción de los morteros de cemento*. 1951.
6. INDITECNOR 2.30 - 35 ch. *Resistencia a la compresión de los morteros de cemento*. 1951.
7. DIN 1164. *Portlandzement. Eisenportlandzement. Hochofenzement*. 1932.
8. ACI COMMITTEE 613. *Recommended practice for selecting proportions for concrete (ACI 613 - 54)*. *Journal of the American Concrete Institute*, vol 26, nº 1 (sept. 1954), p. 49-64 *Proceedings vol. 51*.
9. ASTM C 33 - 57. *Standard Specifications for Concrete Aggregates*.

10. INDITECNOR 30 - 37 ch. *Calidad y composición granulométrica de los agregados pétreos para hormigones.* 1954.
11. INDITECNOR 2.30 - 62 ch. *Hormigones de cemento.* 1952.
12. LAPOSTOL, C; ZABALETA, H. *Metodo de Faury para dosificación de hormigones. Aplicación a la fabricación del hormigón en Santiago. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.* Universidad de Chile, Santiago 1956.
13. ROJAS, S. *Control de calidad de los hormigones de cemento. Análisis estadístico de ensayos de laboratorio.* Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Católica de Chile. Publicación nº 6. Santiago 1957.
14. RUTLLANT, J. *Estudio de la resistencia del hormigón en las obras. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil.* Universidad de Chile. Santiago 1957.
15. LAMANA, A. *La calidad del hormigón en las obras. Interpretación de ensayos de resistencia a la compresión.* VIII^{as} Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Santiago 1959 (no publicado).
16. ROJAS, S. *Control de calidad de los hormigones de cemento. 2º análisis estadístico de ensayos de laboratorios.* Universidad Católica de Chile. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Publicación nº 9. Santiago.
17. LOBO, F.L. *Os coeficientes de segurança e as tensoes admissíveis en peças de concreto simples e de concreto armado.* *Symposium de Estructuras,* julho de 1944. Instituto Nacional de Tecnología. Río de Janeiro (1945) vol. II, pp. 83-126.
18. L'HERMITE, R. *La résistance de béton et sa mesure.* *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.* nº 62 (feb. 1949).
19. MURDOCK, L.J. *The control of concrete quality.* *Proceedings of the Institution of Civil Engineers.* vol. 2 part I nº 4 (jul. 1953) p. 426-453, paper nº 5895.
20. ERNTROY, H. C. *The variation of work test cubes.* *Cement and Concrete Association.* Research Report nº 10 (nov. 1960).
21. Ex-MINISTERIO DE INDUSTRIA Y OBRAS PUBLICAS. *Decreto nº 307 de 4 de marzo de 1912.* Santiago. Chile.
22. *Preussische Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten.* Vom 24 mai 1907. En *EMPERGER. Handbuch für Eisenbeton.* W. Ernst und Sohn, Berlin 1909, vol. IV, parte e, p. 47-70.
23. DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS. *Normas para el cálculo y construcción de las obras de concreto armado en la edificación fiscal.* Dirección General de Obras Públicas. Departamento de Arquitectura. Publicación nº 8. Santiago. Chile, 1930.
24. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. *Decreto nº 1720 de 10 de julio de 1933.* *Normas para el cálculo y la construcción de obras de hormigón armado.*
25. INDITECNOR 63 - 4E. *Hormigón armado. I Parte.* 1957.
26. DIN 1045. *Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton.* julio 1952.

27. *Ley y Ordenanza sobre Construcciones y Urbanización*. Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización. Santiago 1940.
28. *Ordenanza General de Construcciones*. Decreto nº 884 de 13 de junio de 1949. Santiago. Chile.
29. *Ordenanza Especial de Urbanización y Construcciones Económicas*. Decreto nº 451 de 10 de junio de 1944. Santiago. Chile.
30. BAKER, A.L.L. European Committee on Concrete. Report on a meeting at Vienna in april 1959. *The Reinforced Concrete Review*. vol. 5 nº 4 (dic. 1959). p. 247-264.
31. *Instrucción especial para estructuras de hormigón armado*. Instrucción H. A. 58 del I.T.C.C. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid.
32. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT; INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS. *Règles pour le calcul et l'exécution des constructions en béton armé*. La Documentation Technique du Bâtiment et de Travaux Publics. Paris 1961.
33. BUREAU OF RECLAMATION- *Concrete Manual*. United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation. 6a. ed. Denver. Colorado. 1955.
34. ABDUN-NUR, E.A.- How good is good enough? *Journal of the American Concrete Institute*. vol. 59, nº 1, (ene. 1962) p. 31 - 46.
35. ACI COMMITTEE 214. Recommended practice for evaluation of compression tests results of field concrete (ACI 214-57). *Journal of the American Concrete Institute*. vol. 29, nº 1, (jul. 1957). Proceedings vol. 54 p. 1 -19.
36. SCHADEN, K. Die Betongüte in der Baupraxis. *Der Bauingenieur* vol. 34 nº 5 (may. 1959) p. 186-191.
37. BUNDESMINISTERIUM FÜR DIE WOHNUNGSBAU. Erhebungen über die Betongüte beim Wohnungsbau. *Bundesbaublatt*. vol. 7 nº 3 (mar. 1958) p. 124-129.
38. MINISTERE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME. *Règles d'utilisation du béton armé applicables aux travaux dépendant du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme et aux travaux privés*. Regles B.A. 45. Paris, 1945.
39. ROSENBLUETH, E. Temblores chilenos de mayo 1960: sus efectos en estructuras civiles. *Revista Ingeniería*. México. enero 1961. p. 1 - 31.
40. MINISTERIO DE FOMENTO. Decreto nº 1229 de 19 de junio de 1940. Santiago. Chile.
41. MINISTERIO DE FOMENTO. Decreto nº 1149 de 30 de junio de 1936. *Especificaciones técnicas generales para el empleo de barras lisas de acero en obras fiscales de hormigón armado*. Santiago. Chile.
42. INDITECNOR 31 - 113 E ch. *Acero laminado para hormigón armado*. 1960.

**QUALITY OF CONCRETE AND REINFORCING STEEL IN
CONSTRUCTIONS AFFECTED BY THE EARTHQUAKES OF MAY 1960**

SUMMARY:

A report on the quality of concrete and steel used in reinforced concrete construction in Southern Chile is given as a contribution to the study of the behaviour of such structures during the earthquakes of May 1960.

A study is done of the quality of concrete by examining the strength of cements, the aggregates, the procedures used in mixing, placing and curing, and the ultimate strengths obtained in concrete for different uses. Cements were strictly controlled; their breaking strengths were higher than those specified in Chilean standards. Usually, concretes met the specified strengths, or did not fall appreciably under them.

The ultimate strength of concrete for some of the damaged structures is given, through data obtained from test cubes made during construction and cores taken from the structures after the earthquakes. The strengths of concrete in damaged structures are of the same order of the usual strengths, with the exception of a few cases that exhibit specially low values.

Data obtained during the last ten years in routine control tests of round steel bars are shown. The steel meets the standards of ultimate strength and yield point.