

64
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL COMPORTAMIENTO ELASTICO
DEL CONCRETO Y SU INTERPRETACION
A TRAVES DEL MODULO DE ELASTICIDAD.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
S E R G I O G A R C I A

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
I. - NECESIDAD DE INVESTIGACION	2
II. - PLANEACION	
II.1. - Objetivo	4
II.2. - Selección de Materiales	4
II.3. - Diseño y Elaboración de Mezclas	9
II.4. - Información obtenida	12
III. - INTERPRETACION DEL VALOR NUMERICO DEL MODULO DE ELASTICIDAD	
III.1. - Determinación del Módulo Elástico	14
III.2. - Consideraciones	18
III.3. - Interpretación	18
IV. - EXPRESIONES PROPUESTAS	
IV.1. - Desarrollo de las Expresiones Propuestas	19
V. - CONCLUSIONES	
V.1. - Conclusiones	43
V.2. - La Paradoja Elástica	49

INTRODUCCION

El hombre es una criatura singular. En cuerpo y mente es el explorador de la naturaleza. Su imaginación, su razón, sus delicadas emociones y su vigor, le permiten no aceptar el medio sino transformarlo.

El hombre planea, inventa, realiza nuevos descubrimientos, siendo estos cada vez más sutiles e importantes.

Para protegerse del ambiente comenzó por utilizar los materiales que tenía a la mano: Piedras, ramas de arboles, pieles de animales; Más tarde, conocida la cerámica, pudo moldear sus utensilios básicos y elaborar adobes y tejados de arcilla, con lo que se inicia el uso de la mampostería, - montaje de piezas -.

La noción del descubrimiento de un orden subyacente en la materia, constituye para el hombre un concepto fundamental para la exploración de la naturaleza. La arquitectura de las cosas revela una estructura bajo la superficie, una veta oculta que, al ser dejada al descubierto, hace posible el desmontar formaciones naturales y montarlas en nuevas y variadas disposiciones. Se considera éste, el paso en el ascenso del hombre en que se inicia la ciencia teórica, tales disposiciones como el Arco, el Contrafuerte, el Domo ó la Cúpula no constituyen las últimas etapas del camino, que en su ascenso, deberá recorrer el "homo sapiens".

Se tiene que mirar ahora a las limitaciones propias del material. En efecto, el problema no es ya el de diseñar una estructura a partir de los materiales, sino el de diseñar los materiales para una estructura.

Bajo este orden de ideas se trasmite a través del tiempo la inquietud por transformar la naturaleza, obteniéndose trascendentes aportaciones como lo son: el descubrimiento de las propiedades de la cal y posteriormente la invención del Cemento Portland, lo cual dió origen al concreto hidráulico, - tal y como se conoce en la actualidad, - que en unión del acero de refuerzo vino a revolucionar el concepto de las estructuras.

C A P I T U L O I

- Vincit omnia veritas -

- Necesidad de investigación

El concreto tal y como lo conocemos, es el material más utilizado en las construcciones.

Sin embargo sus propiedades aún no han sido plena y totalmente comprendidas, tal es a nuestro modo de ver, su COMPORTAMIENTO ELASTICO.

Dada la importancia de ésta cualidad del concreto en la respuesta de las estructuras, ha sido nuestro interés el presentar una perspectiva diferente de la misma, que tal vez nos de luz en la búsqueda de su esencia.

Las primeras teorías relativas al comportamiento elástico de los materiales en general, vienen del siglo XVII cuando Roberto Hooke, científico inglés, utilizando resortes formuló la llamada "Ley de Hooke", que expresa que "la deformación es proporcional a la carga aplicada". En 1807, Thomas Young establece el concepto de "Módulo de Elasticidad" (también conocido como "Módulo de Young"), siendo éste una constante de proporcionalidad que relaciona un esfuerzo normal con su deformación lineal.

Por lo que respecta al Concreto, algunos estudios realizados, han conducido a establecer expresiones para calcular su "Módulo de Elasticidad" (E):

- 1.- El ACI (American Concrete Institute) propone:

$$E = 4270 W^{1.5} fc^{0.5}$$

donde:

- E ; Módulo de Elasticidad, en kg/cm²
- W ; Corresponde al valor, en ton/m³, del Peso Volumétrico del Concreto.
- fc ; Corresponde al valor, en kg/cm², del Esfuerzo último a compresión del concreto.

2.- Por otra parte, el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal especifica:

$E > \delta = 8000 f'c^{0.5}$ para Concreto Clase 2.

$E > \delta = 14000 f'c^{0.5}$ para Concreto Clase 1.

donde:

$f'c$; Corresponde al valor, en kg/cm^2 , de la Resistencia de Diseño a compresión del concreto.

Los valores numéricos así obtenidos para el Módulo de Elásticidad del concreto, son tomados por los calculistas para el diseño de las estructuras.

El área que comprende el Distrito Federal y la zona metropolitana está clasificada como zona de alta sismicidad, por lo que las estructuras tienen una mayor sollicitación de carga, como ocurrió en los sismos de 1985. Esta situación se ve agravada por el tipo de suelo que se tiene en la mayoría de ella. Por lo anterior se consideró vital proponer nuevas y más confiables expresiones, mediante investigación directa.

<> <> <>

C A P I T U L O I I

PLANEACION

- La planeación es el Punteo entre la idea y los buenos resultados.

E.M.A.Y.

II.1.- Objetivo

Con el presente trabajo nos propusimos desarrollar un Método Numérico, que permita obtener los Modelos Matemáticos que definan confiablemente el Comportamiento Elástico de concretos de distintos Tipos y Resistencias, elaborados con agregados pétreos de diferente origen y características.

Con el fin de obtener información suficiente y representativa, para el presente estudio, se planeó la elaboración de series de mezclas de concreto con distintos agregados pétreos de diferentes densidades. Dichos materiales corresponden tanto a los que se han usado tradicionalmente en nuestro medio, como a los que empiezan a utilizarse para producir concreto Clase I, cuyos requisitos se marcan en las nuevas Normas Técnicas Complementarias Para Construcciones del D. D. F.

Al decir que las pruebas sean representativas, se pretende que las conclusiones obtenidas en el presente trabajo sean aplicables a concretos elaborados con materiales de diferentes lugares de la República y de otros países.

II.2.- Selección de materiales

CEMENTO.- El cemento utilizado para llevar al cabo las mezclas de prueba corresponde a un Portland tipo I, cuyas características principales son:

Densidad : 3120 kg/m³

Resistencia a la compresión en cubos estándar a la edad de 28 días : 300 kg/cm²

Finura por el Método de Blaine : 3000 cm²/gr

AGUA.- Tomada de la red de agua potable.

ADITIVO.- Del tipo reductor de agua (Lignosulfonato).

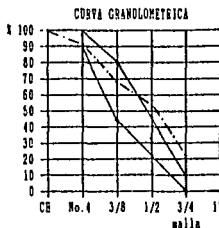
AGREGADOS.- A continuación se presenta la relación de Gravas y Arenas que fueron seleccionadas para el estudio, anotando sus principales características.

ANALISIS DE GRAVA No.: 1
 TIPO DE GRAVA : SEMITRITURADA
 PROCEDENCIA (Estado) : DISTRITO FEDERAL "F"
 CLASIFICACION PETROGRAFICA : ANDESITA

FECHA : 15 de julio de 1987
 COLOR : GRIS
 MODULO de FINURA : 7.37
 % de ARENA en GRAVA : 9.30

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2350 kg/m ³	MALLA	PESO RET.	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	4.42 %	1 1/2"	0	0.00	0.00
HUMEDAD	3.04 %	1 "	0	0.00	0.00
PESO VOL. SELETO	1312 kg/m ³	3/4"	2270	22.70	22.70
PESO VOL. COMPACTO	1486 kg/m ³	1/2"	3160	31.60	54.30
COEF. DE FORMA	0.318	3/8"	1495	14.95	69.25
OBSERVACIONES : Agregado de buenas características, representativo del utilizado en la Ciudad de Mexico.		No. 4	2145	21.45	90.70
		CHAROLA	930	9.30	100.00

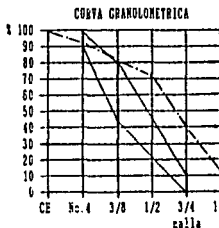


ANALISIS DE GRAVA No.: 2
 TIPO DE GRAVA : SEMITRITURADA
 PROCEDENCIA (Estado) : ESTADO DE MEXICO "M"
 CLASIFICACION PETROGRAFICA : ANDESITA

FECHA : 8 de AGOSTO de 1987
 COLOR : GRIS
 MODULO de FINURA : 8.06
 % de ARENA en GRAVA : 5.20

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2150 kg/m ³	MALLA	PESO RET.	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	5.17 %	1 1/2"	0	0.00	0.00
HUMEDAD	3.9 %	1 "	1215	12.15	12.15
PESO VOL. SELETO	1176 kg/m ³	3/4"	2805	28.05	40.20
PESO VOL. COMPACTO	13.37 kg/m ³	1/2"	3200	32.00	72.20
COEF. DE FORMA	0.324	3/8"	970	9.70	81.90
OBSERVACIONES : Fraccionalmente la grava andesítica de menor densidad usualmente empleada en el área metropolitana.		No. 4	1080	10.80	92.70
		CHAROLA	730	7.30	100.00



ANALISIS DE GRAVA No.: 3

FECHA: 8 de AGOSTO de 1967

TIPO DE GRAVA: TRITURADA

COLOR: GRIS

PROCEDENCIA (Estado): ESTADO DE MEXICO "P"

MODOLO de FINORA: 7.04

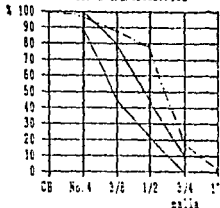
CLASIFICACION PETROGRAFICA: BASALTO

% de ARENA en GRAVA: 2.10

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2720 kg/m ³	MALLA	PESO RET.	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	1.75 %	1 1/2"	0	0.00	0.00
HUMEDAD	0 %	1 "	220	2.20	2.20
PESO VOL. SUELTO	1374 kg/m ³	3/4"	1540	15.40	17.60
PESO VOL. COMPACTO	1517 kg/m ³	1/2"	6040	60.40	78.00
COEF. DE FORMA	0.1986	3/8"	1010	10.10	88.10
OBSERVACIONES: Material muy denso y seco.		No. 4	980	9.80	97.90
		CHAROLA	210	2.10	100.00

CURVA GRANULOMETRICA



ANALISIS DE GRAVA No.: 4

FECHA: 14 de DICIEMBRE de 1967

TIPO DE GRAVA: TRITURADA

COLOR: AMARILLA

PROCEDENCIA (Estado): QUERTARO

MODOLO de FINORA: 7.99

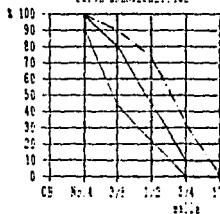
CLASIFICACION PETROGRAFICA: CALIZA

% de ARENA en GRAVA: 0.70

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2610 kg/m ³	MALLA	PESO RET.	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	1.38 %	1 1/2"	0	0.00	0.00
HUMEDAD	0 %	1 "	240	2.40	2.40
PESO VOL. SUELTO	1415 kg/m ³	3/4"	2940	29.40	31.80
PESO VOL. COMPACTO	1577 kg/m ³	1/2"	4315	43.15	74.95
COEF. DE FORMA	0.255	3/8"	1505	15.05	90.00
OBSERVACIONES: Material denso y seco		No. 4	930	9.30	99.30
		CHAROLA	70	0.70	100.00

CURVA GRANULOMETRICA

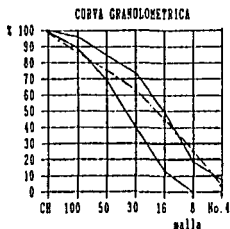


ANALISIS DE ARENA No.: 1
 TIPO DE ARENA : DE HIMA NATURAL
 PROCEDENCIA (Estado) : ESTADO DE MEXICO "G"
 CLASIFICACION PETROGRAFICA : ANDESITA

FECHA : 15 de JULIO de 1967
 COLOR : GRIS VERDOSA
 MODELO de FIBRA : 2.96
 % de GRASA en ARENA : 5.70

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2420 kg/m ³	MALLA	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	3.33 %	No. 4	5.70	5.70
HUMEDAD	7.23 %	No. 8	20.70	26.40
PESO VOL. SUELTO	1272 kg/m ³	No. 16	18.50	44.90
PESO VOL. COMPACTO	1476 kg/m ³	No. 30	16.40	61.30
CONTRACC. LINEAL	0 %	No. 50	14.70	76.00
OBSERVACIONES : En nuestra opinion la arena andesitica mas densa, de que se dispone en el area metropolitana.		No. 100	11.00	87.00
		No. 200	8.90	95.90
		CHAPOLA	4.10	100.00

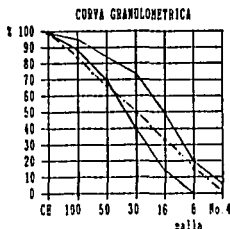


ANALISIS DE ARENA No.: 2
 TIPO DE ARENA : DE HIMA NATURAL
 PROCEDENCIA (Estado) : ESTADO DE MEXICO "B"
 CLASIFICACION PETROGRAFICA : ANDESITA

FECHA : 29 de JULIO de 1967
 COLOR : BEIGE
 MODELO de FIBRA : 2.49
 % de GRASA en ARENA : 2.20

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2370 kg/m ³	MALLA	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	5.27 %	No. 4	2.20	2.20
HUMEDAD	5.26 %	No. 8	13.60	15.80
PESO VOL. SUELTO	1103 kg/m ³	No. 16	16.90	32.70
PESO VOL. COMPACTO	1314 kg/m ³	No. 30	17.50	50.20
CONTRACC. LINEAL	0.1 %	No. 50	16.10	66.30
OBSERVACIONES : Una de las arenas mas gruesas de las que se utilizan en el area metropolitana.		No. 100	17.90	84.20
		No. 200	10.70	94.90
		CHAPOLA	5.10	100.00



ANALISIS DE ARENA No.: 3

FECHA: 14 de SEPTIEMBRE de 1967

TIPO DE ARENA: DE RIMA NATURAL

COLOR: BRUNO

PROCEDENCIA (Estado): ESTADO DE MEXICO "P"

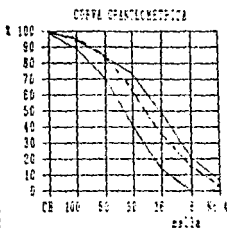
MODOLO de FINURA: 2.97

CLASIFICACION PATROGRAFICA: ANDESITA

% de GRAVA en ARENA: 3.50

GRANULOMETRIA

DENSIDAD	2330 kg/m ³	NALLA	PESO RET.	PESO RET. %	PESO ACUM. %
ABSORCION	6.49 %	No. 4	35	3.50	3.50
HUMEDAD	6.58 %	No. 8	128	12.80	16.30
PESO VOL. SUELTO	1177 kg/m ³	No. 16	208	20.80	37.10
PESO VOL. COMPACTO	1394 kg/m ³	No. 30	276	27.60	64.70
CONTRACC. LINEAL	0.4 %	No. 50	196	19.60	84.30
OBSERVACIONES: Una de las arenas andesiticas, a nuestro juicio de menor calidad, no obstante tiene poco polvo, contiene mucho material ligero (cenizas volcanicas).		No. 100	102	10.20	94.50
		No. 200	39	3.90	98.40
		CHAROLA	16	1.60	100.00



II.3. - Diseño y Elaboración de Mezclas

Denominando a los materiales anteriores de la siguiente manera:

Las gravas con numeros:

ANDESITA	--	Distrito Federal "F"	.....	1
ANDESITA	--	Estado de México "M"	.....	2
BASALTO	--	Estado de México "Z"	.....	3
CALIZA	--	Queretaro	.....	4

Las arenas con letras:

ANDESITA	--	Estado de México "G"	.....	A
ANDESITA	--	Estado de México "M"	.....	B
ANDESITA	--	Estado de México "P"	.....	C

se establecieron las siguientes combinaciones:

Comb. No.	Clave	Comb. No.	Clave	Comb. No.	Clave
1	1-A	5	2-B	9	4-A
2	1-B	6	2-C	10	3-A *
3	1-C	7	3-A	11	3-C *
4	2-A	8	3-C		*Bombeable

Los diseños (proporcionamientos) de las mezclas para éstas diferentes combinaciones, se obtuvieron con el "Método Numérico para el Diseño Optimo de Mezclas de Concreto"¹ siendo las características generales del concreto las siguientes:

- Resistencia de diseño (f'c)	100, 150, 200 250, 300 y 350 kg/cm ²
- Tipo y Grado de Calidad	Normal "A"
- Revenimiento	10 cms. (combs. 1 a 9)
- Calidad del Cemento	Bueno
- Calidad del Aditivo	Muy Bueno
- Dosificación de Aditivo	4 al millar respecto al ctdo. de cemento
- Desviación Estandar	35 kg/cm ²
- Tamaño Máximo del Agregado	20 mm.

Refer.

¹ Tesis Profesional.- Ing. Civil UNAM.- 1988.

A continuación se presentan los proporcionamientos:

$f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$

Clave Comb.	Cemento kgs.	Agua lts.	Grava kgs.	Arena kgs.	Rel w/c en peso	G/A (vol) absoluta
1-A	173	192	884	926	1.11	0.918
1-B	180	199	949	799	1.10	0.988
1-C	173	186	906	877	1.08	0.918
2-A	175	198	772	940	1.13	0.954
2-B	186	219	836	817	1.17	1.034
2-C	173	183	794	899	1.06	0.944
3-A	177	200	891	993	1.13	0.822
3-C	177	191	887	982	1.08	0.822
4-A	177	203	811	1045	1.15	0.822
3-A*	195	223	626	1179	1.14	0.550
3-C*	195	215	652	1121	1.10	0.550

$f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

1-A	200	187	935	866	0.935	1.022
1-B	209	194	995	746	0.928	1.097
1-C	200	183	955	818	0.915	1.022
2-A	203	193	814	883	0.950	1.059
2-B	215	213	874	765	0.990	1.145
2-C	200	179	837	842	0.895	1.051
3-A	205	195	941	939	0.951	0.915
3-C	206	187	938	928	0.907	0.915
4-A	206	199	861	988	0.966	0.915
3-A*	227	219	675	1122	0.964	0.615
3-C*	227	211	700	1066	0.929	0.615

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

1-A	230	185	967	816	0.804	1.107
1-B	240	193	1024	702	0.804	1.187
1-C	230	180	987	772	0.782	1.108
2-A	233	192	840	835	0.824	1.146
2-B	247	209	897	723	0.846	1.235
2-C	230	177	864	797	0.769	1.139
3-A	236	193	973	893	0.818	0.991
3-C	236	182	871	886	0.771	0.991
4-A	236	197	892	940	0.835	0.991
3-A*	261	217	707	1072	0.831	0.669
3-C*	261	210	732	1019	0.805	0.669

$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Clave Comb.	Cemento kgs.	Agua lts.	Grava kgs.	Arena kgs.	Rel w/c en peso	Rel G/A en vol.
1-A	269	189	978	767	0.702	1.181
1-B	279	196	1031	658	0.702	1.263
1-C	262	200	1054	666	0.763	1.359
2-A	273	194	849	780	0.711	1.220
2-B	288	212	902	681	0.736	1.312
2-C	269	183	907	714	0.680	1.344
3-A	276	196	984	845	0.710	1.057
3-C	276	190	983	834	0.688	1.057
4-A	276	201	904	890	0.728	1.057
3-A*	305	221	722	1017	0.724	0.715
3-C*	305	214	745	966	0.702	0.715

$f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

1-A	312	191	982	723	0.612	1.246
1-B	323	209	1032	620	0.647	1.329
1-C	304	204	1056	626	0.671	1.434
2-A	316	198	851	744	0.627	1.286
2-B	332	213	901	644	0.642	1.379
2-C	312	186	920	659	0.596	1.449
3-A	320	200	987	801	0.625	1.115
3-C	320	194	986	791	0.602	1.115
4-A	320	203	909	846	0.634	1.115
3-A*	353	224	730	966	0.635	0.756
3-C*	353	218	751	918	0.618	0.756

$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

1-A	360	194	979	683	0.539	1.304
1-B	372	198	1026	586	0.532	1.390
1-C	351	206	1051	591	0.587	1.502
2-A	364	201	848	704	0.552	1.346
2-B	382	215	894	609	0.563	1.439
2-C	360	184	916	628	0.511	1.518
3-A	369	202	984	761	0.547	1.167
3-C	369	196	983	752	0.531	1.167
4-A	369	206	907	804	0.558	1.167
3-A*	406	226	731	918	0.557	0.793
3-C*	406	220	751	873	0.542	0.793

* BOMBEABLE

- Los proporcionamientos señalados en las tablas, corresponden a valores dosificados en Laboratorio, es decir, valores ya corregidos por humedad.

- La Relación Grava/Arena está dada en valor absoluto, -de no existir contaminación de grava en arena ni viceversa-.

Para cada diseño se elabora una mezcla de laboratorio de 60 litros de volumen y con ello:

- Se califica la apariencia de la mezcla.
- Se ajusta el agua que se requiere exactamente para dar la consistencia necesaria.
- Se obtiene el Revenimiento final.
- Se obtiene el Peso Volumétrico (N.O.M. C-162).
- Se elaboran 5 cilindros estándar (N.O.M. C-160), para la determinación de la Resistencia a compresión (N.O.M. C-83) a las edades de 3, 7, 14, 28 y 28 días respectivamente, determinando, así mismo, el Módulo de Elasticidad (N.O.M. C-128-82) en los cilindros de 28 días.

II.4.- Información Obtenida

Una vez que se concluye la etapa correspondiente a la elaboración de las mezclas de laboratorio, se procede a recopilar y resumir la información (Tablas T.II.2) útil y necesaria para el desarrollo del presente trabajo. Dicha información consiste básicamente en:

- Peso Volumétrico de la mezcla final.
- Resistencia a compresión a los 28 días.
- Módulo Elástico del concreto a los 28 días.

Referente a este último dato, como ya se mencionó, la determinación se hace de acuerdo al método N.O.M C-128-82, el cual señala que:

$$E = \frac{0.40fc - fc_{50\text{ mil l}}}{d_{0.40fc} - 0.000050}$$

donde:

- E; Módulo Elástico del Concreto, en kg/cm²
- fc; Esfuerzo último, a compresión del concreto, en kg/cm²
- fc_{50 mil l}; Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 50 millonésimas, en kg/cm²
- d_{0.40fc}; Deformación correspondiente al 40 por ciento del Esfuerzo último.

Tabla T.11.2. Resumen de la información obtenida.

SERIE	f'c kg/cm ²	PESO VOL. kg/m ³	f'c 28 DIAS kg/cm ²	MODULO "E" kg/cm ²	SERIE	f'c	PESO VOL.	f'c 28 DIAS	MODULO "E"
1 - A	100	2171	167	138464	3 - A	100	2254	173	201749
	150	2189	181	139232		150	2281	223	216843
	200	2168	260	145929		200	2282	274	235623
	250	2196	310	158258		250	2289	280	230083
	300	2182	373	160030		300	2314	365	256940
350	2260	434	166347	350	2314	437	267873		
1 - B	100	2139	168	125754	3 - C	100	2179	128	182398
	150	2143	221	145456		150	2186	182	213143
	200	2139	253	150953		200	2229	229	232807
	250	2143	339	162984		250	2228	267	236281
	300	2160	377	160335		300	2257	368	255588
350	2160	418	168207	350	2279	435	261421		
1 - C	100	2086	116	125111	4 - A	100	2214	155	191141
	150	2118	206	138690		150	2257	190	213507
	200	2107	273	151364		200	2250	232	243954
	250	2139	288	154752		250	2257	312	259013
	300	2139	371	158391		300	2250	331	248594
350	2139	431	159462	350	2264	378	265463		
2 - A	100	2078	172	131825	3 - B BOMBA	100	2220	180	187104
	150	2086	218	137003		150	2221	212	193269
	200	2095	256	133354		200	2246	284	217700
	250	2100	275	145385		250	2243	335	235499
	300	2111	317	151412		300	2250	367	226796
350	2107	320	162129	350	2243	438	233167		
2 - B	100	2042	177	136390	3 - C BOMBA	100	2100	119	177126
	150	2042	185	131815		150	2121	171	193003
	200	2036	214	131717		200	2157	221	214159
	250	2043	290	145724		250	2157	270	208671
	300	2053	284	149356		300	2175	341	225594
350	2068	334	158012	350	2189	426	234539		
2 - C	100	1986	138	121616					
	150	2018	190	133757					
	200	2032	222	146211					
	250	2054	284	145001					
	300	2057	324	154106					
350	2068	360	167355						

C A P I T U L O I I I
 INTERPRETACION DEL VALOR NUMERICO
 DEL MODULO DE ELASTICIDAD

- Acaso Pitagoras fuese una especie de mago para sus seguidores, debido a que les enseñaba que la naturaleza está regida por números. Existe una armonía en la naturaleza -deca-, una unidad en su variedad y tiene un lenguaje; LOS NUMEROS SON EL LENGUAJE DE LA NATURALEZA.-

III.1 Determinación del Módulo Elástico

Como se vió en la parte final del capítulo II, para determinar el módulo de elasticidad del concreto nos apegamos al método N.O.M. C-128-82. La secuencia es la siguiente:

a).- Se toma un espécimen de concreto a la edad especificada y se prepara colocandole el dispositivo para medir deformaciones (anillos y deformímetros) como se ilustra en la figura F. III.1.

b).- Se aplican 3 precargas del orden del 20 por ciento de la resistencia última pronosticada.

c).- Se comienza a aplicar la carga definitiva tomando lecturas de deformación a determinados intervalos de carga, hasta aproximadamente un 60% de la resistencia última pronosticada.

d).- Se calcula la deformación unitaria para cada lectura, como:

$$d = \frac{dL}{L} \quad \text{donde: } d; \text{ Deformación unitaria, adimensional}$$

$$dL; \text{ Deformación promedio, en 0.001 mm.}$$

$$L; \text{ Longitud de medición, 150 mm.}$$

e).- Se calcula el esfuerzo correspondiente a cada lectura:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad \text{donde: } f_c; \text{ Esfuerzo a compresión, en kg/cm}^2.$$

$$P; \text{ Carga aplicada, en kg.}$$

$$A; \text{ Area de la sección transversal, en cm}^2.$$

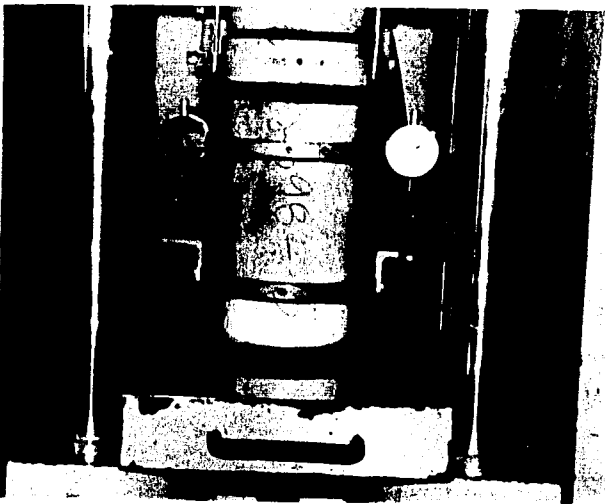
f).- De los incisos d) y e) se tiene una lista de valores esfuerzo - deformación, los cuales se grafican.

g).- Obtenemos los datos necesarios para sustituirlos en la expresión que marca la N.O.M. C-128-82 y calcular así, el Módulo de Elasticidad.

$$E = \frac{40\%fc - fco.00005}{d \times l \times e} \dots E.III.1$$

d = 0.00005

Los pasos anteriores se ejemplifican en la tabla T.III.1 y en las gráficas G.III.1 y G.III.2 que aparecen a continuación.



TABLEA DE GRABACION

TABLA DE VALORES

LECT. No.	CARGA ton.	DEFORMACIONES			UNIDAD	ESFUERZO kg/cm ²
		1 001mm.	2 001mm.	MEDIA 001mm		
1	0	0.00	0.00	0.00	0	0
2	1	0.00	7.00	3.50	0.000023	5.65
3	2	0.00	13.00	6.50	0.000043	11.30
4	3	0.00	18.00	9.00	0.000060	16.95
5	4	2.00	25.00	13.50	0.000090	22.60
6	5	3.00	28.00	15.50	0.000103	28.25
7	6	4.00	31.00	17.50	0.000117	33.90
8	7	5.00	34.00	19.50	0.000130	39.55
9	8	8.00	37.00	22.50	0.000150	45.20
10	9	11.00	40.00	25.50	0.000170	50.85
11	10	13.00	43.00	28.00	0.000187	56.50
12	12	18.00	50.00	34.00	0.000227	67.90
13	14	24.00	57.00	40.50	0.000270	79.10
14	16	30.00	65.00	47.50	0.000317	90.40
15	18	36.00	71.00	53.50	0.000357	101.69
16	20	42.00	78.00	60.00	0.000400	112.99
17	22	48.00	85.00	67.00	0.000447	124.29
18	24	55.00	93.00	74.00	0.000493	135.59
19	26	62.00	96.00	80.00	0.000533	146.89
20	28	69.00	107.00	88.00	0.000587	158.19
21	30	77.00	115.00	96.00	0.000640	169.49
22	32	85.00	123.00	104.00	0.000693	180.79
23	34	94.00	132.00	113.00	0.000753	192.09
24	36	102.00	140.00	121.00	0.000807	203.39
25	38	110.00	146.00	128.00	0.000853	214.69
26	40	120.00	157.00	138.50	0.000923	225.99
27	42	128.00	166.00	147.00	0.000980	237.29
28	44	138.00	178.00	158.00	0.001053	248.59
29	46	148.00	190.00	169.00	0.001127	259.89
30	48	155.00	196.00	175.50	0.001170	271.19
31	50	165.00	205.00	185.00	0.001233	282.49
32	52	175.00	216.00	195.50	0.001303	293.79
33	54	186.00	228.00	207.00	0.001380	305.09
34	56	196.00	240.00	218.00	0.001453	316.39
35	58	210.00	253.00	231.50	0.001543	327.69
36	60	220.00	265.00	242.50	0.001617	338.99
37	62	234.00	280.00	257.00	0.001713	350.29
38	64	250.00	295.00	272.50	0.001817	361.59
39	66	274.00	313.00	293.50	0.001957	372.89
40	68	280.00	330.00	305.00	0.002033	384.19
41	70	300.00	350.00	325.00	0.002167	395.49
42	72	320.00	370.00	345.00	0.002300	406.79
43	74	360.00	410.00	385.00	0.002567	418.09
44	76	410.00	450.00	430.00	0.002667	429.39
45	76.5	440.00	490.00	465.00	0.003100	432.20

DETERMINACION DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTADÍSTICO DEL CONCRETO

$$E = \frac{0.40 f_c - f_c (a 50 \text{ mil})}{d (a 0.40 f_c) - 0.000550}$$

$$d (a 0.40 f_c) - 0.000550$$

donde:

E: Módulo Elástico del Concreto, en kg/cm²

f_c: Esfuerzo último, a compresión del concreto, en kg/cm²

f_c (a 50 mil): Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 50 milésimas, en kg/cm²

d (a 0.40 f_c): Deformación unitaria correspondiente a un esfuerzo de 0.40 f_c, en kg/cm²

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

MATERIAL	PROCEDECENCIA	CLASIFICACION	F 1
GRAVA	EDO. DE MEXICO	BASALTO	1 70
ARENA	EDO. DE MEXICO	ANDESITA	2 50

CONCRETO		ESPECIMEN	
f'c kg/cm ²	350	REFERENCIA	101-E
TIPO	N	EDAD en días	28
T.M.A. mm	20	TIEMPO en hrs	24 00
BRV. cms	10	CARGA ULTIMA ton	76 00

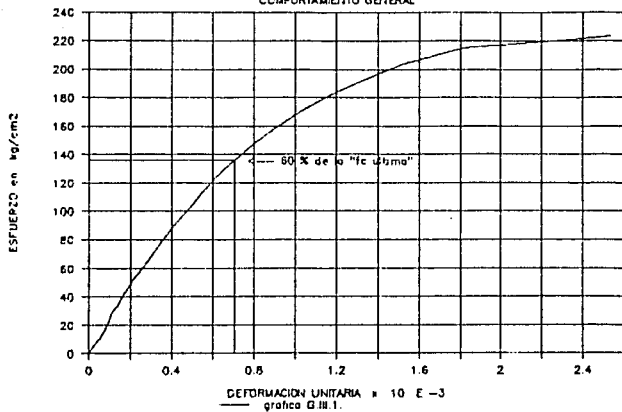
RESULTADOS

f _c ULTIMO kg/cm ²	439	MÓDULO ELÁSTICO	
40% f _c R. kg/cm ²	175	ESFUERZO "E" en kg/cm ²	
f _c a d=0.002056	13.58		28332
d a 40% de f _c	0.002658		

Tabla T.II.1 - Determinación del Módulo Elástico del Concreto

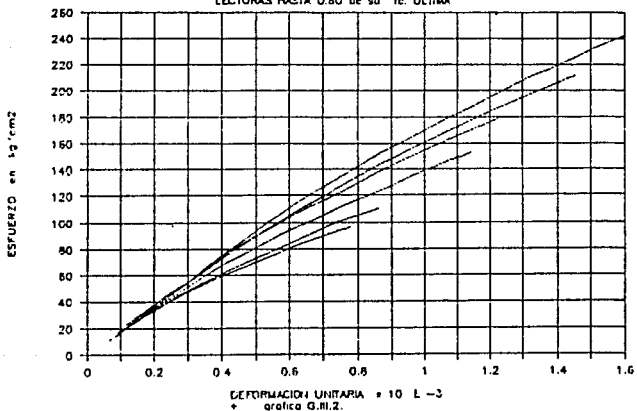
GRAFICA "ESFUERZO - DEFORMACION"

CONFORTAMIENTO GLOBAL



SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"

LECTURAS HASTA 0.60 de su "f_c ULTIMA"



III.2.- Consideraciones

- 1.- Se considera que existe una Distribucion de Esfuerzos Uniforme, en la totalidad de la sección transversal del espécimen, y también que existe una relación constante Esfuerzo -Deformación en el sentido de la carga.
- 2.- Se considera que para esfuerzos hasta del cuarenta por ciento del esfuerzo último del concreto, éste se encuentra dentro de un rango de comportamiento elástico.
- 3.- La ecuación E.III.1 nos da el valor numérico de la pendiente trigonométrica de la recta entre los puntos de: el esfuerzo correspondiente a una deformación de cincuenta millonésimas y la deformación correspondiente a un esfuerzo del cuarenta por ciento del esfuerzo último.
- 4.- El considerar como extremo inferior de la recta secante, el punto correspondiente al esfuerzo que nos da una deformación unitaria de cincuenta millonésimas, garantiza que el concreto ya se encuentra trabajando.
- 5.- Podemos decir que cada concreto * tiene una recta específica, de tal suerte que su ubicación dentro de los ejes cartesianos y su pendiente, nos indicará que tan deformable es con respecto a otro, como se muestra en la gráfica G.III.2.

III.3.- Interpretación

Así como en el caso del valor de f_c , para cualquier concreto a su edad de diseño, - determinado al someter un cilindro estándar a una compresión axial; significa que la carga máxima aplicada sobre el espécimen de prueba, fué soportada por el concreto gracias a que éste opuso un esfuerzo promedio unitario resistente " f_c ", que en suma para la totalidad del área del cilindro fué equivalente. Para comprender el significado del Módulo de Elasticidad del concreto, podemos decir que éste corresponde simple y sencillamente a la relación existente, - para ese concreto en particular, - entre el esfuerzo que se le aplica y la deformación que experimenta ante éste esfuerzo.

En otras palabras, si conocemos el valor numérico del Módulo de Elasticidad de un concreto en particular, determinado siguiendo el método N. O. M. C-128-82, así como su f_c último, estamos en condiciones de conocer el orden del valor de la deformación de éste concreto al momento de resistir un esfuerzo del 0,40 f_c .

* NOTA: Cuando decimos "cada concreto" nos referimos a concretos de diferentes niveles de esfuerzo, así como a concretos elaborados con diferentes agregados pétreos y de diferentes revenimientos.

<> <> <>

C A P I T U L O I V

EXPRESIONES PROPUESTAS

- Cuando los cálculos salen así de bien, uno sabe al igual que Pitágoras, que un secreto de la naturaleza se le ha descubierto en la palma de la mano.

IV.1.- Desarrollo de las expresiones propuestas

A continuación se desarrolla el Método, que nos llevará a encontrar el modelo matemático del comportamiento del Módulo de Elasticidad del Concreto en función de: su "fc", "Densidad del Agregado Grueso" y su "Relación Grava/Arena".

1.- Como se mencionó, para cada una de las parejas de los agregados seleccionados se diseñaron seis mezclas diferentes, con el propósito de cubrir la gama de resistencias a la compresión, comúnmente utilizadas para la construcción, esto es, desde 100 hasta 400 kg/cm².

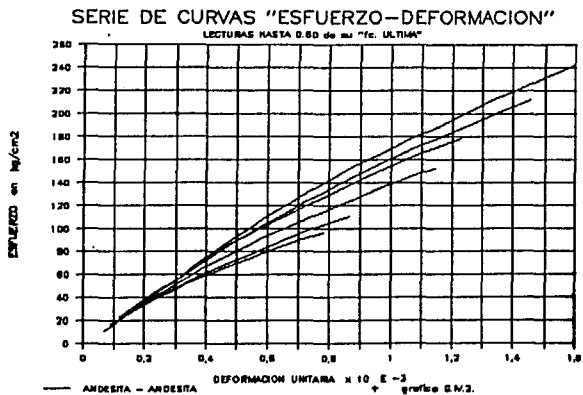
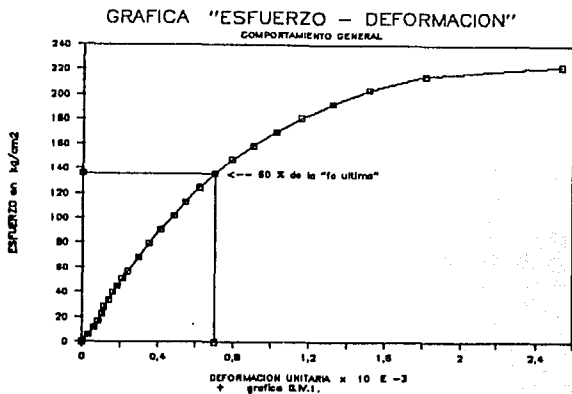
Se realizaron en total 11 series, para diferentes combinaciones de gravas y arenas. Con el fin de ejemplificar la secuencia del Método, se manejará en lo sucesivo la información obtenida de la serie 1-A -Grava Andesítica con Arena Andesítica- así, las gráficas que se presenten, corresponderán a dicha serie.

2.- De cada mezcla, a la edad de diseño - 28 días - se sometieron a la prueba de compresión un par de cilindros, instrumentandolos con los dispositivos necesarios para determinar las deformaciones correspondientes a los esfuerzos aplicados, a efecto de poder construir sus gráficas Esfuerzo - Deformación, para niveles de esfuerzos hasta del orden del sesenta por ciento de su carga última -ver gráfica G.IV.1.-. Cabe aclarar que en todos los casos se ensayaron cilindros hermanos a edades menores, a efecto de ir dando seguimiento a la adquisición de resistencia de éstas mezclas, con el objetivo de conocer con aproximación, hasta que nivel de carga y sin peligro, se podían determinar las deformaciones en los cilindros.

3.- Conforme a lo anotado en los incisos "1" y "2", para cada combinación de agregados se pudo construir un conjunto de curvas como el que aparece en la Gráfica G.IV.2., en la que se tienen las relaciones Esfuerzo - Deformación para cada una de las diferentes resistencias.

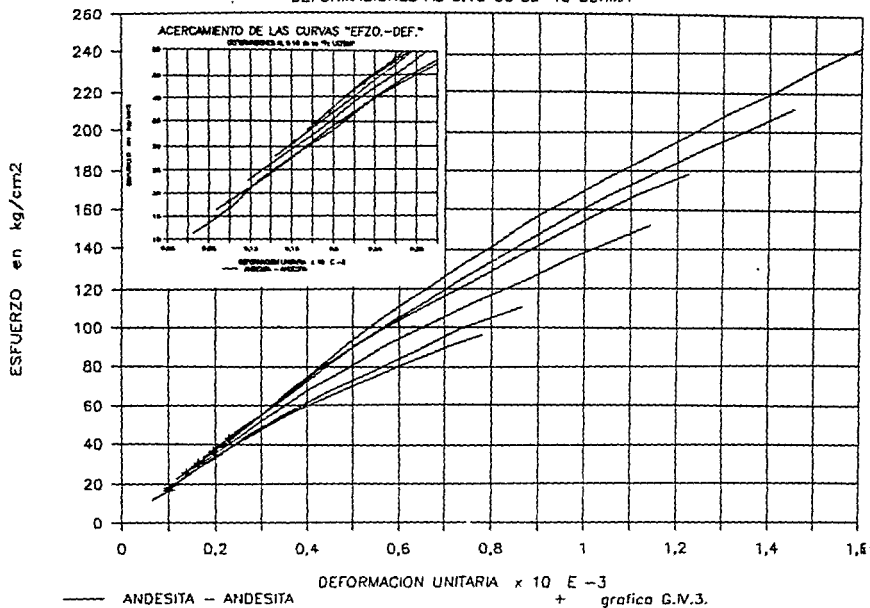
4.- Para cada conjunto de curvas mencionado, se determinaron los puntos correspondientes a ciertos porcentajes del esfuerzo último de cada una de las mezclas que constituyen una serie. Por ejemplo: de la serie 1-A se determinaron los

puntos que corresponden al diez por ciento del esfuerzo último o de ruptura de cada una de las mezclas de esa serie. Ver gráficas G.IV.3.



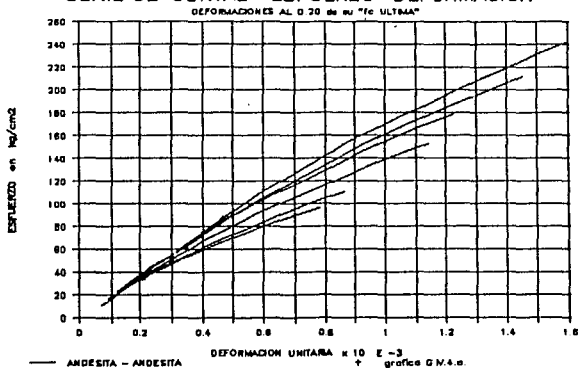
SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"

DEFORMACIONES AL 0.10 de su "fc ULTIMA"

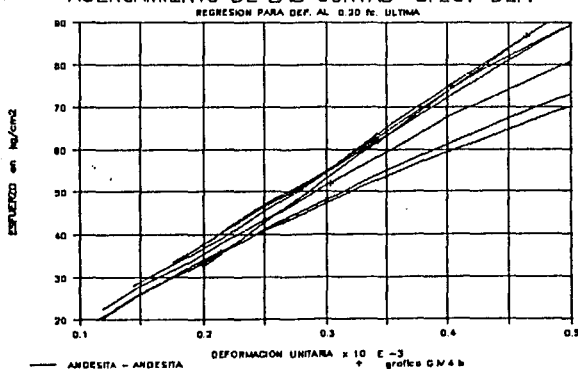


Conforme al procedimiento que acabamos de mencionar, se obtuvieron los puntos para otros niveles de esfuerzo, que fueron además del 10 por ciento, el 20, 30, 40 e inclusive 50 por ciento de la resistencia última, de todas las mezclas que conforman una serie y, como ya se dijo, para todas las series. Esto se ve en las gráficas: G. IV.4.a y b, G. IV.5. a y b, G. IV.6. a y b, G. IV.7. a y b.

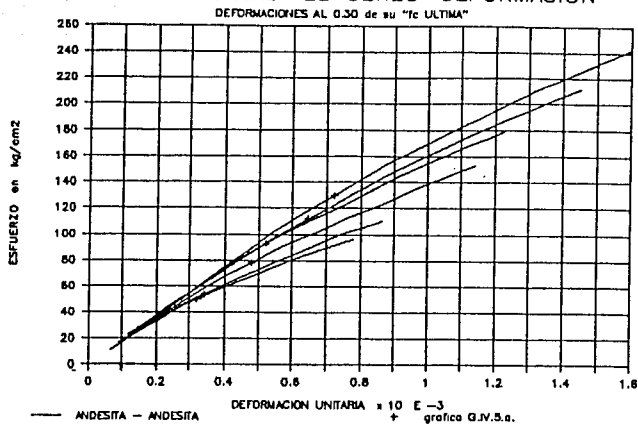
SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"



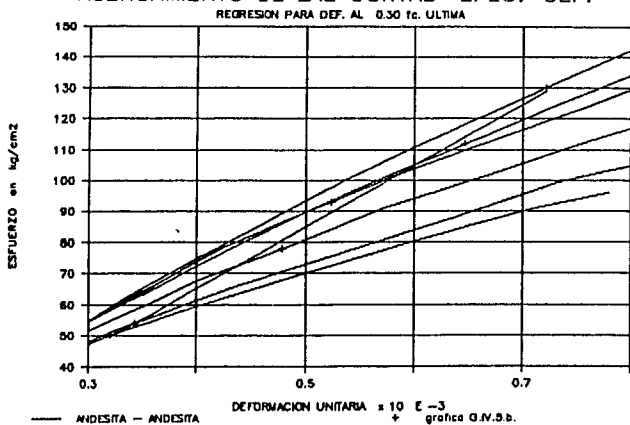
ACERCAMIENTO DE LAS CURVAS "EFZO.-DEF."



SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"

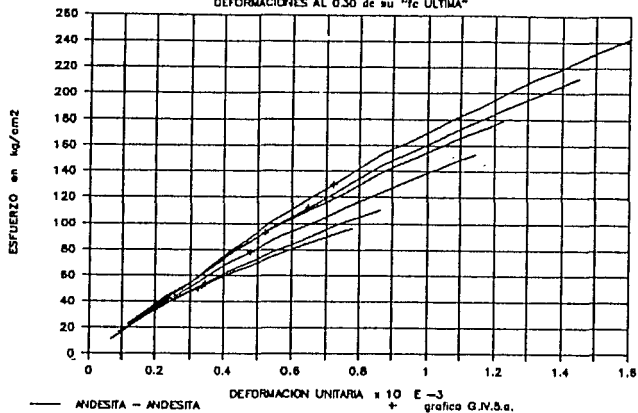


ACERCAMIENTO DE LAS CURVAS "EFZO.-DEF."



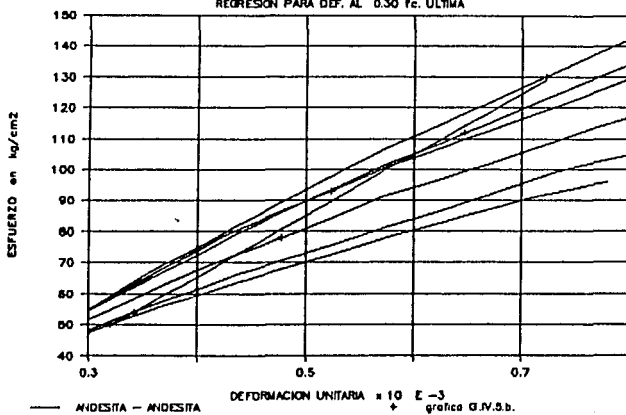
SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"

DEFORMACIONES AL 0.30 de su "fc ULTIMA"



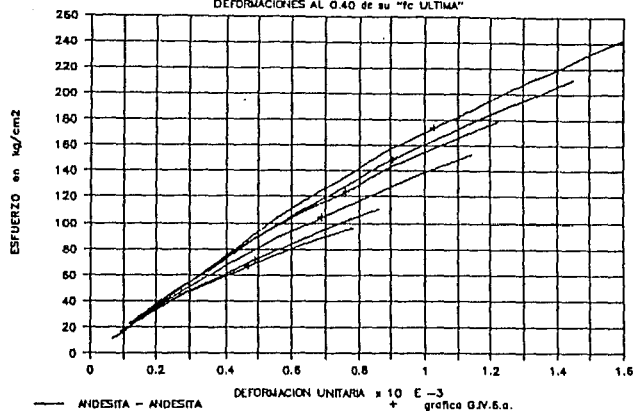
ACERCAMIENTO DE LAS CURVAS "EFZO.-DEF."

REGRESION PARA DEF. AL 0.30 fc. ULTIMA



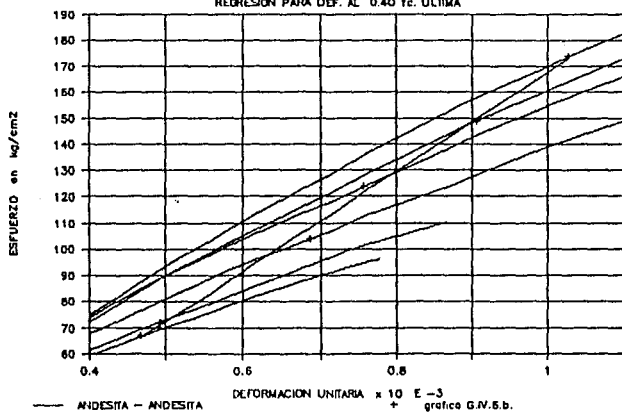
SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"

DEFORMACIONES AL 0.40 de su "f_c ULTIMA"

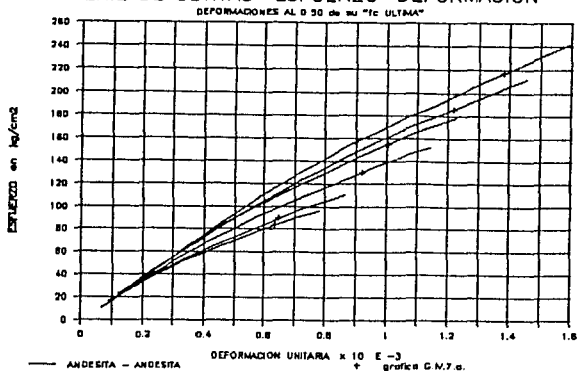


ACERCAMIENTO DE LAS CURVAS "EFZO.-DEF."

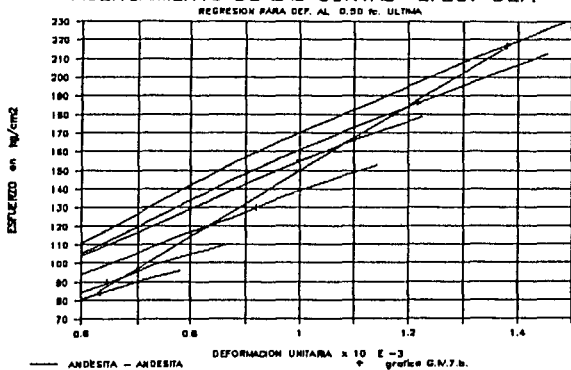
REGRESION PARA DEF. AL 0.40 f_c ULTIMA



SERIE DE CURVAS "ESFUERZO-DEFORMACION"



ACERCAMIENTO DE LAS CURVAS "EFZO.-DEF."



5.- Si observamos los puntos para un mismo nivel de esfuerzo, correspondiente a cada una de las mezclas que conforman una serie, éstos presentan una tendencia lineal, por ello se procedió a realizar el estudio de correlación obteniéndose modelos lineales, -ecuaciones de las rectas-, con valores de coeficiente de correlación muy elevados, del orden de 0.980. Para ratificar este fenómeno se anexa una lista de las ecuaciones de las rectas -obtenidas mediante estudios de regresión lineal-, con sus respectivos coeficientes de correlación "R". Ver Tabla T. IV. 1.

tabla T. IV. 1.

SERIE 1-A							SERIE 1-B		
%fc	m	b	r	m	b	r	m	b	r
10	0.1975	-1.851	0.9977	0.1581	5.199	0.9736			
20	0.2046	-8.196	0.999	0.1846	-1.198	0.9824			
30	0.1977	-13.86	0.9974	0.2027	-15.57	0.9932			
40	0.1906	-22.89	0.9985	0.1977	-29.51	0.9907			
50	0.1751	-25.52	0.9974	0.1846	-35.52	0.9992			

SERIE 1-C				SERIE 2-A		
%fc	m	b	r	m	b	r
10	0.1898	-1.157	0.9957	0.1514	1.700	0.9957
20	0.2010	-7.790	0.9932	0.1774	-4.534	0.9798
30	0.1940	-13.12	0.9988	0.1771	-11.69	0.9948
40	0.1845	-20.89	0.9997	0.1780	-23.29	0.9878
50	0.1773	-29.48	0.9990	0.1813	-42.04	0.9838

SERIE 2-B				SERIE 2-C		
%fc	m	b	r	m	b	r
10	0.1566	1.392	0.9812	0.1862	-1.96	0.9752
20	0.2005	-11.58	0.9969	0.1984	-8.72	0.9908
30	0.1922	-19.99	0.9948	0.1929	-13.66	0.9757
40	0.1945	-33.13	0.9928	0.1975	-31.09	0.9836
50	0.1924	-51.52	0.9886	0.1975	-50.94	0.9860

tabla T. IV. 1. (Continuacion..)

%fc	SERIE 3-A			SERIE 3-C		
	m	b	r	m	b	r
10	0.3897	-8.867	0.9517	0.3143	-2.14	0.9963
20	0.3713	-19.17	0.9943	0.3208	-9.36	0.9996
30	0.3742	-35.26	0.9899	0.3073	-14.75	0.9982
40	0.3583	-51.20	0.9993	0.3048	-25.41	0.9987
50	0.3361	-62.18	0.9985	0.2966	-37.39	0.9947

%fc	SERIE 3-A B			SERIE 3-C B		
	m	b	r	m	b	r
10	0.2685	-2.154	0.9893	0.2880	-4.90	0.9743
20	0.3133	-18.20	0.9873	0.2864	-9.65	0.9941
30	0.2992	-25.74	0.9946	0.2779	-16.19	0.9983
40	0.2875	-33.78	0.9928	0.2708	-24.46	0.9983
50	0.2523	-19.16	0.9818	0.2545	-30.67	0.9989

%fc	SERIE 4-A		
	m	b	r
10	0.3464	-8.986	0.9895
20	0.3417	-15.19	0.9927
30	0.3550	-30.99	0.9876
40	0.3421	-40.88	0.9861
50	0.3496	-61.43	0.9981

Es muy importante a nuestro modo de ver, el enfatizar la existencia de una ley bien definida, entre las deformaciones del concreto y el valor absoluto del esfuerzo aplicado, independientemente del nivel de esfuerzo último. Con esto simplemente queremos indicar que las deformaciones del concreto invariablemente son proporcionales al esfuerzo que resista, no importando la resistencia a la cual se haya diseñado el concreto.

Lo anterior echa por tierra la idea de que, para un mismo porcentaje del esfuerzo último en concretos de diferente nivel de resistencia, se tiene un mismo valor de deformación unitaria. Por ejemplo si se ensaya un concreto cuya resistencia última fué de 200 kg/cm² y se determina el valor de la deformación unitaria a un 10 por ciento del esfuerzo último, en este caso para 20 kg/cm², y por otro lado se ensaya un concreto cuya resistencia última fué de 400 kg/cm² e igualmente que en el caso anterior se determina su deformación unitaria para un esfuerzo correspondiente al 10 por ciento, esto es para 40 kg/cm² y se comparan las deformaciones obtenidas, nos encontramos con que a pesar de que en ambos casos estamos aplicando el mismo nivel de esfuerzo, "no se obtiene la misma deformación unitaria", por el contrario, la deformación es mayor a mayor valor absoluto del esfuerzo aplicado. Ahora bien lo anterior es exactamente igual para diferentes niveles de esfuerzo, dentro del rango elástico del concreto. En páginas anteriores se mostró este comportamiento hasta para el 50 por ciento del esfuerzo último.

Este comportamiento elástico del concreto, adicionalmente a ser la base del método aquí presentado, en nuestra opinión tiene una gran trascendencia ya que indica que una estructura será más deformable, en tanto se construya con concreto de mayor resistencia, partiendo de la base de considerar un determinado nivel de esfuerzos de trabajo del concreto, para el diseño de la misma.

Continuando con nuestro METODO, ya estamos en este momento en condiciones de conocer en valor absoluto, la deformación unitaria del concreto, a un nivel de esfuerzos determinado -no olvidar que nos estamos refiriendo al rango del comportamiento elástico- y para una pareja dada de agregados pétreos según su clasificación geológica, dicha pareja puede ser por ejemplo: Grava Basáltica y Arena Andesítica, o bien, tanto Grava como Arena Andesíticas. Por otro lado estamos concientes de que no obstante se trate de una pareja de determinada clasificación geológica, dentro de los agregados de un mismo origen existen variaciones normales, por ejemplo una roca andesítica puede tener densidades que en nuestro medio varían de 2.15 hasta 2.35 ton/m³; Así mismo de que una mezcla de concreto de igual

resistencia a la compresión, presentará una diferente Relación Grava/Arena, dependiendo de si su revenimiento es de 10 cm. o se diseña para ser bombeada. Pues bien, para el caso particular de las Andesitas, se observó lo siguiente:

De la totalidad de las series de mezclas, seis de ellas fueron elaboradas con grava Andesítica, de las cuales tres series corresponden a una Andesita con densidad de 2350 kg/m³ y las otras tres de 2150 kg/m³; Agrupando dichas series de una y otra densidad y analizando las ecuaciones de sus respectivas rectas "fc contra $d_{\text{ox}}^{\text{re}}$ ", - tabla T.IV.1., - se detectó una "pendiente" promedio m_x muy semejante en ambos conjuntos, siendo 0.1909 para el grupo con densidad de 2350 y 0.1900 para el de 2150 kg/m³, sin embargo por lo que respecta a los valores de la "ordenada al origen" se observa una diferencia:

$$b_1 = -24.42 \quad (\text{Den : } 2350 \text{ kg/m}^3)$$

$$b_2 = -29.17 \quad (\text{Den : } 2150 \text{ kg/m}^3)$$

diferencia = - 4.75 =====> se tomará conservadoramente
un valor de 5.00

Esto nos marca la variación que tenemos en función de la Densidad de un Agregado Andesítico, - ver gráfica G.IV.8., - así, en el momento de encontrar una grava con ésta clasificación geológica y que además su densidad esté comprendida entre 2150 y 2350 kg/m³ podremos obtener la ecuación de la recta "fc contra $d_{\text{ox}}^{\text{re}}$ " para concretos elaborados con éste material como sigue:

La "pendiente" la fijamos como: $m_x = 0.1905$

La "ordenada al origen" la calculamos como:

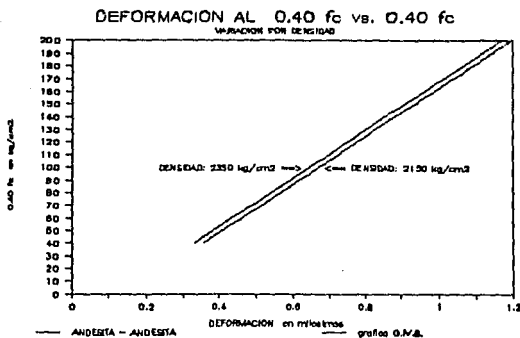
$$b_x = - 24 - (2350 - D_x) (0.025)$$

en donde:

D_x ; Densidad del nuevo material (kg/m³)

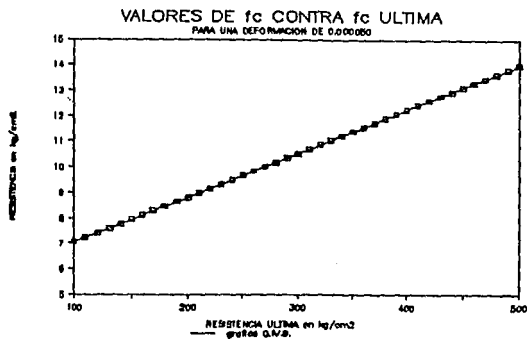
b_x ; Ordenada al origen buscada (adim)

Debido a la gran influencia que tiene el agregado grueso en el comportamiento elástico del concreto, pensamos que de las observaciones anteriores, se pueden aplicar estos conceptos a diferentes tipos de agregados pétreos, aunque claro en diferentes proporciones.



Por otro lado, analizando los valores de los esfuerzos correspondientes a una deformación unitaria de 50 millonésimas, igualmente se observó una tendencia lineal -ver gráfica G.V.9.- de tal forma que obteniendo las ecuaciones de las rectas que definen dicho comportamiento, estamos en la posibilidad de obtener el esfuerzo que provoca una deformación unitaria de 50 millonésimas para concretos de diferente nivel de resistencia última.

La variación del esfuerzo vs. d_{50} mil se considerará la misma, independientemente del cambio de densidad para un agregado de la misma clasificación geológica, ya que después de estudiar este comportamiento se vió que la diferencia es muy pequeña.

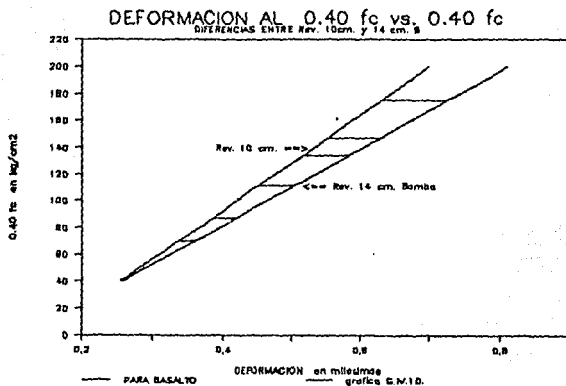


En cuanto a la Relación Grava/Arena se manejaron series de mezclas con revenimientos de 10 cm. "no bombeables" y 14 cm. "bombeables", pues como se sabe, entre uno y otro concretos existe una diferencia sustancial en la Relación Grava/Arena, precisamente con el objeto de dar al concreto la manejabilidad requerida; Cabe aclarar que éstos casos corresponden solo a mezclas elaboradas con grava basáltica; observandose el siguiente comportamiento:

Las pendientes para uno y otro concreto varían entre sí sustancialmente, existiendo un punto pivote correspondiente a un nivel de resistencia del orden de 100 kg/cm², en la gráfica G. IV. 10. se nota claramente éste fenómeno interpretandolo como: Una disminución tal en el contenido de Grava,- como consecuencia a su vez de una muy alta Relación Agua/Cemento- que prácticamente impide la continuidad de las partículas del agregado grueso dentro de la mezcla de concreto, siendo las deformaciones que experimenta el mortero las que determinan el comportamiento elástico de la mezcla. En otras palabras, por debajo de un determinado valor de la Relación Grava/Arena, el valor de "E", es función directa del comportamiento elástico del mortero. Es por eso que a partir del punto pivote, conforme se va aumentando la resistencia de los concretos y en consecuencia su Relación Grava/Arena; la pendiente de los no bombeables con revenimiento de 10 cms., es mayor que la de los concretos bombeables, debido a que igualmente incrementan en mayor proporción su Relación Grava/Arena.

En ésta ocasión tomamos tal cuales las rectas resultantes del estudio de regresión, para cada uno de los concretos, -ver tabla T. IV. 1., - recalcando, eso sí, que para los diferentes tipos de agregados, sea cual fuere su clasificación, se mantiene una proporcionalidad en sus Relaciones Grava/Arena para concretos con revenimiento de 10 cm. y bombeables. Referente a la variación de f_c vs. $d_{50\text{mm}}$ se sigue el lineamiento visto en el caso del factor densidad, es decir dado que la diferencia es insignificante se toma el mismo valor, tanto para concreto bombeable como no bombeable, para un mismo tipo de agregado en particular.

Un punto importante es el de suponer mezclas bien proporcionadas, con el mayor contenido posible de grava, sin detrimento de las características óptimas de trabajabilidad, apariencia, etc.



Retomando el tema, en este momento nos encontramos en condiciones de conocer, en valor absoluto, la deformación unitaria del concreto dentro de su rango elástico, para una pareja dada de agregados y un nivel de esfuerzo determinado o porcentaje de su resistencia última; y algo muy importante, para concretos de diferentes resistencias. Dicho de otra forma, numéricamente podemos calcular la deformación unitaria de concretos de cualesquier resistencia a la compresión al aplicarles un esfuerzo correspondiente a un porcentaje determinado de su resistencia última, por ejemplo el 40 por ciento. Siempre y cuando conozcamos la clasificación geológica de sus agregados pétreos y tomando en cuenta las consideraciones que por densidad y revenimiento se acaban de hacer.

Desarrollo de Expresiones:

Resumiendo lo dicho en los párrafos anteriores podemos obtener una serie de valores de Modulo Elástico de acuerdo con la ecuación ya manejada de la N.O.M. C-128-82, al hacer variar la f_c y obteniendo la f_{c50} y la d_{50} , correspondientes; Simplemente sustituimos en la ecuación y calculamos -tabla T.IV.2.a.-. Estos valores así obtenidos y gráficamente en un sistema de ejes coordenados nos representan la variación real del Módulo Elástico contra la Resistencia Última del Concreto. Esta curva - la llamaremos CURVA REAL - se muestra en la gráfica G. IV. 11.

tabla T. IV. 2. a.

fc -28 d-	40% fc kg/cm ²	d 40% mill.	fc 50 kg/cm ²	Módulo E -directo- kg/cm ²	Módulo "E" -con rectas- kg/cm ²
167	67	468	9.00	138,484	139,265
181	72	493	10.68	139,232	141,808
260	104	687	10.97	145,929	152,873
310	124	758	11.95	158,258	157,143
373	149	907	12.45	160,030	161,056
434	174	1027	12.25	166,347	164,292

Recordando la ecuación para determinar el Módulo "E":

$$E = \frac{0.40fc - fc_{50} \text{ mill}}{d_{0.40fc} - 0.000050}$$

donde ahora, según los análisis de regresión de los datos obtenidos en cada serie, la $d_{0.40fc}$ se calcula en base a la expresión de la recta "0.40fc vs. $d_{0.40fc}$ " que dice:

$$0.40fc = 190.6 d_{0.40fc} - 22.89$$

despejando $d_{0.40fc}$:

$$d_{0.40fc} = \frac{0.40fc + 22.89}{190.6}$$

y por otro lado la $fc_{50} \text{ mill}$ se calcula en base a la expresión de la recta "fcult vs. $fc_{50} \text{ mill}$ " que dice:

$$fcult = 58.011 fc_{50} \text{ mill} - 310.466$$

despejando $fc_{50} \text{ mill}$:

$$fc_{50} \text{ mill} = \frac{fcult + 310.466}{58.011}$$

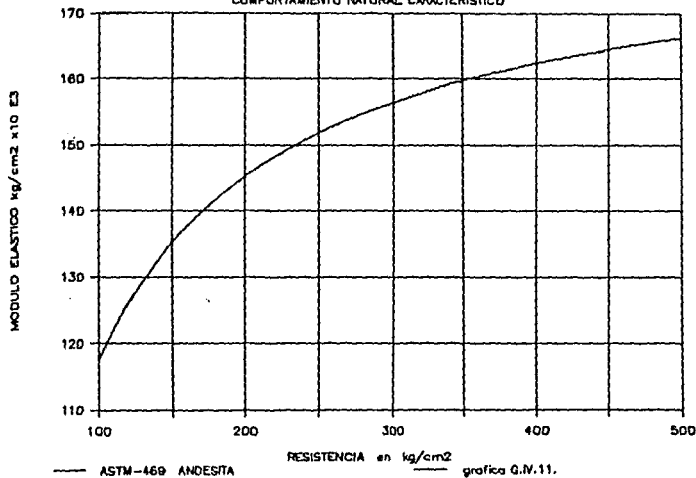
Con las expresiones así obtenidas para calcular la $d_{0.40fc}$ y $fc_{50} \text{ mill}$. en función de fcult, substituyendolos luego en la ecuación correspondiente, podemos obtener los valores de "E" para cualquier resistencia deseada, como se ve en la última columna de la tabla T. IV.2.a. y en siguiente tabla T. IV.2.b.

tabla T. IV.2. b.

f'c	40% f'c kg/cm ²	d 40% -recta- -mill.	fc 50 -recta- kg/cm ²	Modulo "E" -con rectas- kg/cm ²
100	40	330	7.08	117,605
150	60	435	7.94	135,268
200	80	540	8.80	145,360
250	100	644	9.66	151,893
300	120	780	10.52	156,466
350	140	855	11.39	159,864
400	160	960	12.25	162,363
450	180	1064	13.11	164,586
500	200	1189	13.97	166,247

RESISTENCIA vs. MODULO ELASTICO

COMPORTAMIENTO NATURAL CARACTERISTICO



Obtención del Modelo Matemático:

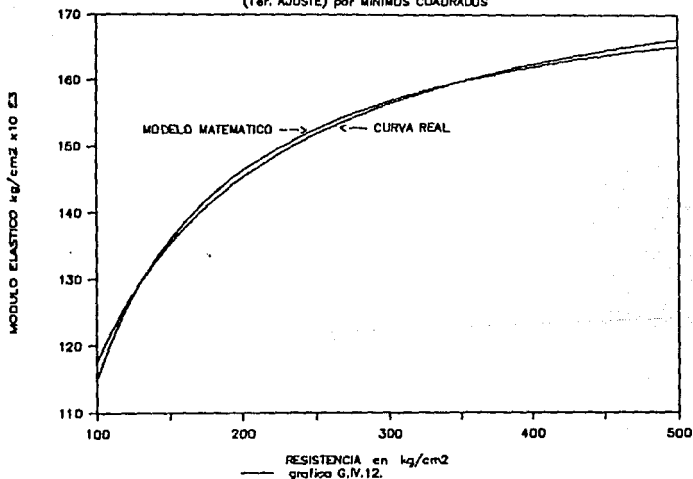
Es este el momento de buscar el MODELO MATEMATICO que más fielmente se apegue al comportamiento anterior; Existen para ello los "Métodos de Correlación". Tal es el caso del "Método de Libre Ajuste", o bien como el caso del que se empleó en el desarrollo del presente trabajo, que es el "Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados", y con el cual se probaron diferentes tipos de curvas, como la Parábola, la Logarítmica, Hipérbolica, hallándose esta última como la más aproximada -con mejor coeficiente de correlación-. Pero aún siendo esta Hipérbola - la llamaremos HIPERBOLA 1 - la curva que mejor se ajustó, se acusaron diferencias del orden del 3% máximo. -gráfica G. IV. 12. y tabla T. IV. 3.-

El MODELO MATEMATICO de la curva es la "HIPERBOLA":

$$E = A + \frac{1}{B f_c} ; \quad E = 177.7413 - \frac{6275.28}{f_c}$$

REGRESION HIPERBOLICA

(1er. AJUSTE) por MINIMOS CUADRADOS



Se pensó conveniente subsanar de alguna manera las diferencias encontradas en nuestra primera instancia del MODELO y la CURVA REAL, pues siendo el objetivo primordial de este trabajo el llegar a obtener expresiones matemáticas lo más exactas posibles y además, contando con el apoyo electrónico de las computadoras, fué factible hacer ese ajuste mediante el procedimiento siguiente:

1.- Se obtienen las diferencias entre la CURVA REAL y la HIPERBOLA 1. Graficando en un sistema de ejes coordenados las diferencias vs. f_c , se tiene una curva que se ajusta más a un Modelo Parábólico o ecuación de 2^{do}. grado -POLINOMIO 1- gráfica G. IV. 13.

tabla T. IV. 3.

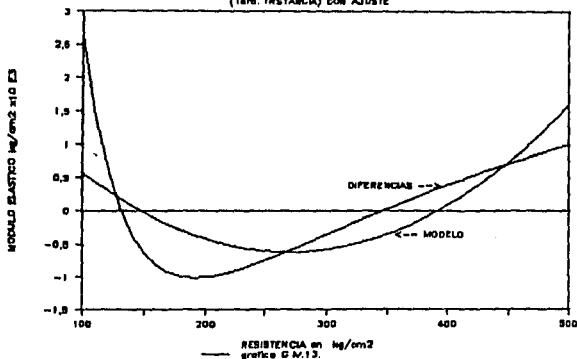
f_c kg/cm ²	Módulo E "CURVA REAL"	Módulo E HIPERBOLA 1	diferencia DIF 1	%
100	117,605	114,989	2,610	2.22
150	135,266	135,908	- 640	0.47
200	145,360	146,365	-1,005	0.69
250	151,893	152,640	- 747	0.49
300	156,466	156,824	- 358	0.23
350	159,846	159,812	34	0.02

- Ecuación de las diferencias -DIF 1- (ajuste a polinomio de 2do. grado -POLINOMIO 1-):

$$\text{POLINOMIO 1} = (2.3935) + (-0.0224)f_c + (0.000041)f_c^2$$

DESAJUSTE DEL MODELO

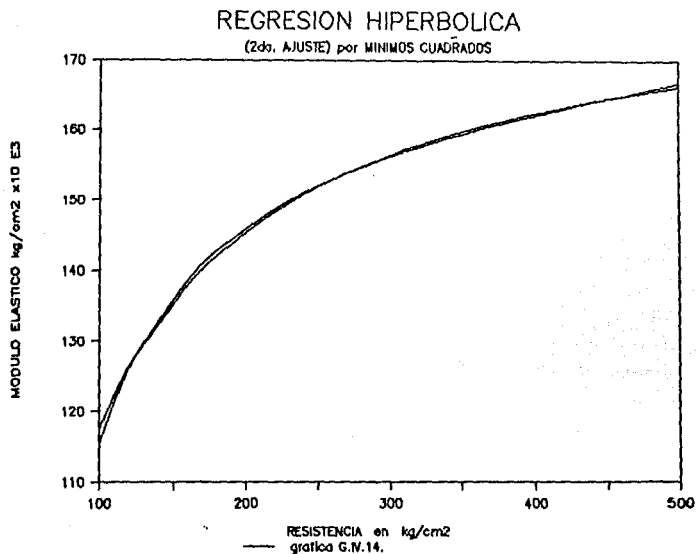
(1era. INSTANCIA) CON AJUSTE



2.- La suma de HIPERBOLA 1 + POLINOMIO 1, da como resultado la ecuación de la HIPERBOLA 2 que, obviamente, estará más cercana a la CURVA REAL -gráfica G. IV. 14.-

- Suma de la HIPERBOLA 1 + POLINOMIO 1

$$\text{HIPERBOLA 2} = - (6275.28/fc) + 180.1348 + (-0.02240)fc + (0.000041)fc^2$$



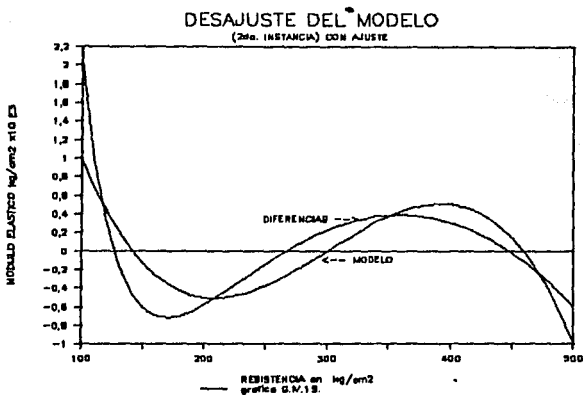
3.- Aún existen diferencias entre la CURVA REAL y la HIPERBOLA 2 -tabla T. IV. 4. ; La secuencia de corrección de este nuevo desajuste es la misma que se describe en los Pasos 1 y 2: Se obtienen las nuevas diferencias, gráfíicandolas contra la resistencia ajustado ahora ese comportamiento a una ecuación de 3er. grado -POLINOMIO 2-.

tabla T. IV. 4.

f'c kg/cm ²	Módulo E "CURVA REAL"	Módulo E HIPERBOLA 2	diferencia DIF 2	%
100	117,605	115,558	2,047	1.74
150	135,266	135,876	- 609	0.45
200	145,360	145,942	- 582	0.40
250	151,893	152,034	- 141	0.09
300	156,466	156,241	225	0.14
350	159,846	159,462	385	0.24

- Ecuación de las diferencias -DIF 2- (ajuste a polinomio de 3er. grado -POLINOMIO 2-):

$$\text{POLINOMIO 2} = (6.4619) + (-0.08135)fc + (0.000299)fc^2 + (-0.0000003323)fc^3$$



4.- La suma de la HIPERBOLA 2 + POLINOMIO 2, da como resultado la ecuación de la HIPERBOLA 3, más ajustada a la CURVA REAL. Esto se realiza iterativamente, incrementándose el grado del polinomio, hasta llegar -para efectos de la exactitud de este trabajo- a un polinomio de 5o. grado, logrando abatir las diferencias, entre la CURVA REAL y nuestro modelo matemático, a valores del orden del 0.2%.

- Suma de la HIPERBOLA 2 + POLINOMIO 2

$$\text{HIPERBOLA 3} = - (6275.28/fc) + 186.5967 + (-0.10375)fc + (0.000340)fc^2 + (-0.000003323)fc^3$$

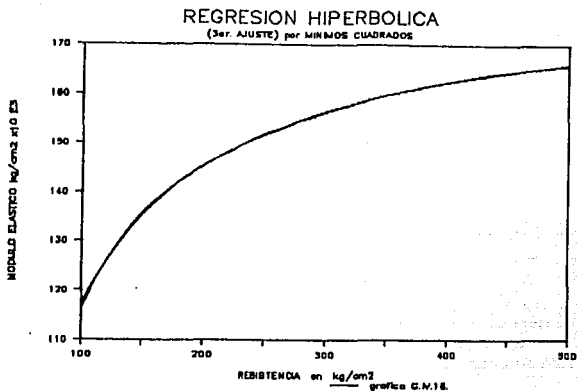


tabla T. IV. 5.

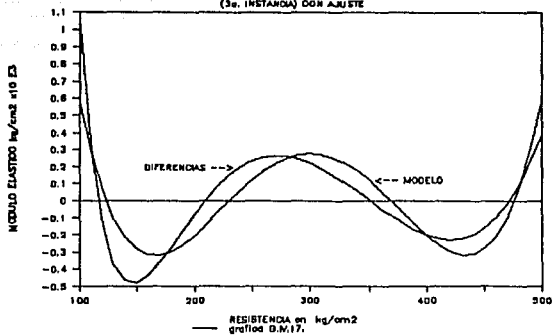
$f'c$ kg/cm^2	Módulo E "CURVA REAL"	Módulo E HIPERBOLA 3	diferencia DIF 3	%
100	117,605	116,543	1,062	0.90
150	135,266	135,742	- 476	0.35
200	145,360	145,438	- 78	0.05
250	151,893	151,657	236	0.15
300	156,466	156,241	225	0.14
350	159,846	159,838	8	0.00

- Ecuación de las diferencias -DIF 3- (ajuste a polinomio de 4to. grado -POLINOMIO 3-):

$$\text{POLINOMIO 3} = (9.2931) + (-0.16012)fc + (0.000933)fc^2 + (-0.00000222)fc^3 + (0.0000000019)fc^4$$

DESAJUSTE DEL MODELO

(3a. INSTANCIA) CON AJUSTE



- Suma de la HIPERBOLA 3 + POLINOMIO 3

$$\begin{aligned} \text{HIPERBOLA 4} = & - (6275.28/f_c) + 195.8890 + (-0.26387)f_c + \\ & + (0.001273)f_c^2 + (-0.000025603)f_c^3 + \\ & + (0.000000019)f_c^4 \end{aligned}$$

REGRESION HIPERBOLICA

(4a. AJUSTE) por MINIMOS CUADRADOS

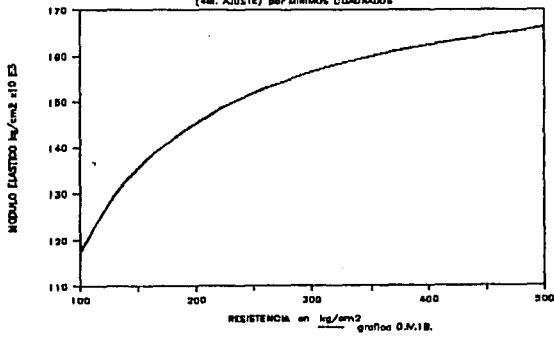


tabla T. IV. 6.

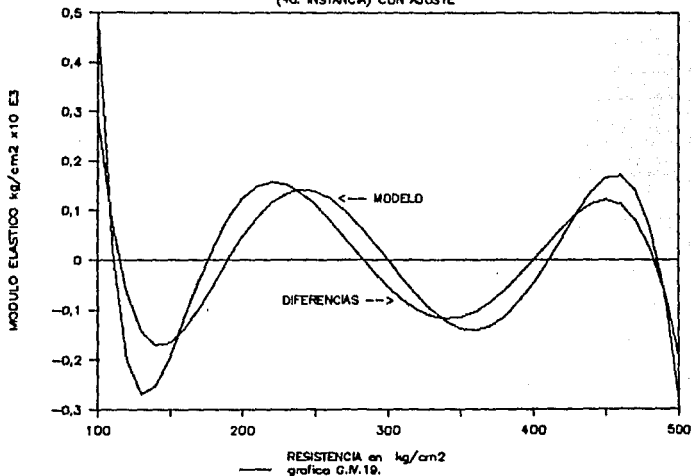
f'c kg/cm ²	Módulo E "CURVA REAL"	Módulo E HIPERBOLA 4	diferencia DIF 4	%
100	117,605	117,123	482	0.41
150	135,266	135,461	- 195	0.14
200	145,360	145,236	124	0.08
250	151,893	151,781	112	0.07
300	156,466	156,520	- 54	0.03
350	159,846	159,962	- 116	0.07

- Ecuación de las diferencias -DIF 5- (ajuste a polinomio de 5to. grado -POLINOMIO 4-):

$$\text{POLINOMIO 4} = (11.7325) + (-0.25606)fc + (0.0020659)fc^2 + (-0.0000077058)fc^3 + (0.0000000135)fc^4 + (-9.028E-12)fc^5$$

DESAJUSTE DEL MODELO

(4a. INSTANCIA) CON AJUSTE



- Suma de la HIPERBOLA 4 + POLINOMIO 4

$$\begin{aligned} \text{HIPERBOLA 5} = & - (6275.28/fc) + 207.6215 + (-0.519876)fc + \\ & + (0.003332)fc^2 + (-0.0000102661)fc^3 + \\ & + (0.0000000154)fc^4 + (-9.028E-12)fc^5 \end{aligned}$$

REGRESION HIPERBOLICA

(5to. AJUSTE) por MINIMOS CUADRADOS

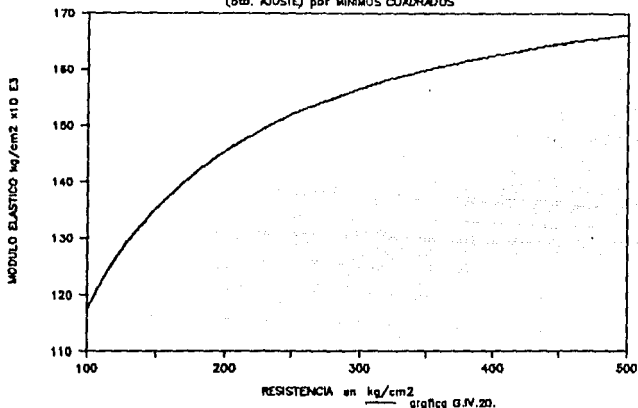


tabla T. IV.7.

f'c kg/cm ²	Módulo E "CURVA REAL"	Módulo E HIPERBOLA 5	diferencia DIF 5	%
100	117,605	117,406	199	0.16
150	135,266	135,294	- 28	0.02
200	145,360	145,283	77	0.05
250	151,893	151,919	- 26	0.02
300	156,466	156,520	- 54	0.03
350	159,846	159,824	22	0.01

En esta última tabla T. IV.7. se puede apreciar que ya en el valor calculado del Módulo de Elasticidad se tienen diferencias de menos de 200 kg/cm², entre la CURVA REAL y el MODELO MATEMATICO, que corresponden a menos del 2 al millar lo cual es insignificante. podemos entonces calcular el Módulo Elástico de ese concreto para cualquier resistencia.

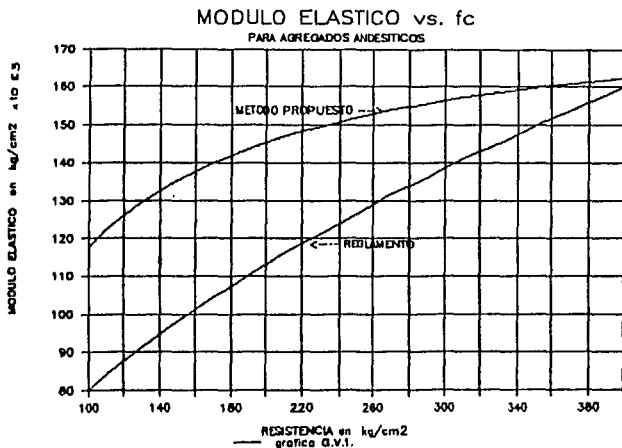
C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

V.1.- Conclusiones

1.- La primera singularidad que salta a la vista en este trabajo es haber encontrado un modelo matemático - o más bien el sistema para poder obtenerlo - que define con elevado grado de exactitud el comportamiento real del MODULO DE ELASTICIDAD del concreto, en función de los materiales con que se elabore y sus características mecánicas - básicamente resistencia a compresión-.

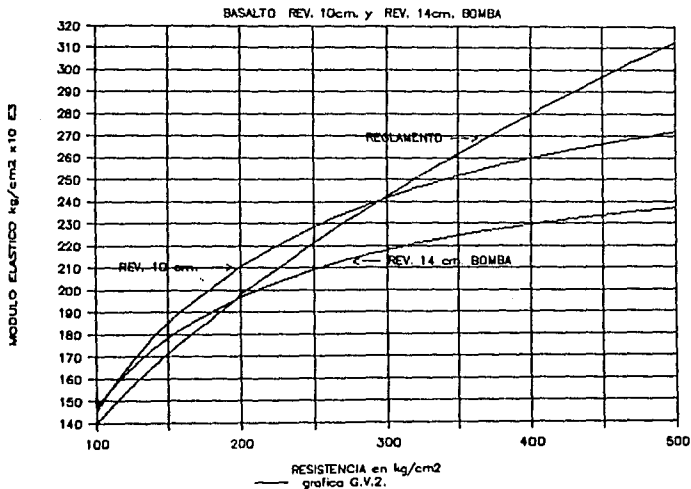
Para comprender la importancia de este hecho, consideremos la gráfica G.V.1. en donde se han dibujado las curvas "Módulo de Elasticidad vs. Resistencia", calculadas por un lado con el modelo obtenido, y por el otro la curva que corresponde a la expresión que rige en el Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal. En dicha gráfica está claramente identificada cada una de las curvas mencionadas. En este caso se trata en particular del Concreto "Clase 2", para el que se especifica debe cumplir con un Módulo "E" mayor o igual a $8000 f'c^{0.5}$, y el Modelo Matemático fué obtenido para concreto elaborado con Grava y Arena Andesíticas, agregados tradicionalmente utilizados en el Area Metropolitana de la Ciudad de México.



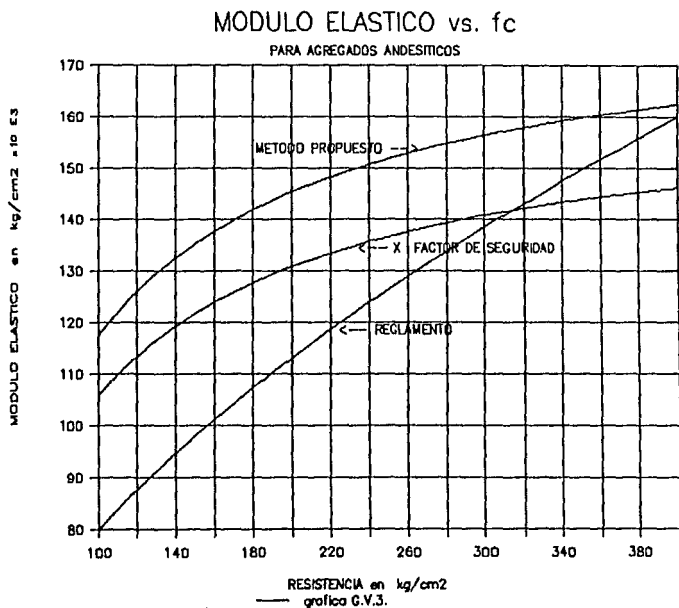
La gráfica en si es elocuente; en ella se aprecian las diferencias sustanciales que existen entre ambas. En general la expresión del Reglamento tiene un margen de seguridad elevado para concretos de bajo nivel de resistencia, pero ya muy reducido para resistencias altas.

Con el mismo orden de ideas se dibujó la gráfica G.V.2. Ahora las curvas pertenecen, una al Modelo Matemático de concretos elaborados con Grava Basáltica y Arena Andesítica la otra a la expresión del Reglamento que especifica: "E' mayor o igual a $14000 f'c^{0.5}$ -hablamos del concreto "Clase 1"-". Se puede ver claramente que para concretos de baja resistencia, el comportamiento real nos da valores por encima de lo que marca el Reglamento, por lo tanto si existe la posibilidad de cumplir con la especificación, pero en el momento en que se quiera producir concretos de resistencia alta, $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$ - por mejor diseñados que estén los proporcionamientos de las mezclas, muy difícilmente se podrá cumplir, y definitivamente no se alcanzarán si se trata de un concreto bombeable en donde se disminuye la Relación Grava/Arena - en la gráfica G.V.2. también se dibujó la curva para este caso -.

RESISTENCIA vs. MODULO ELASTICO

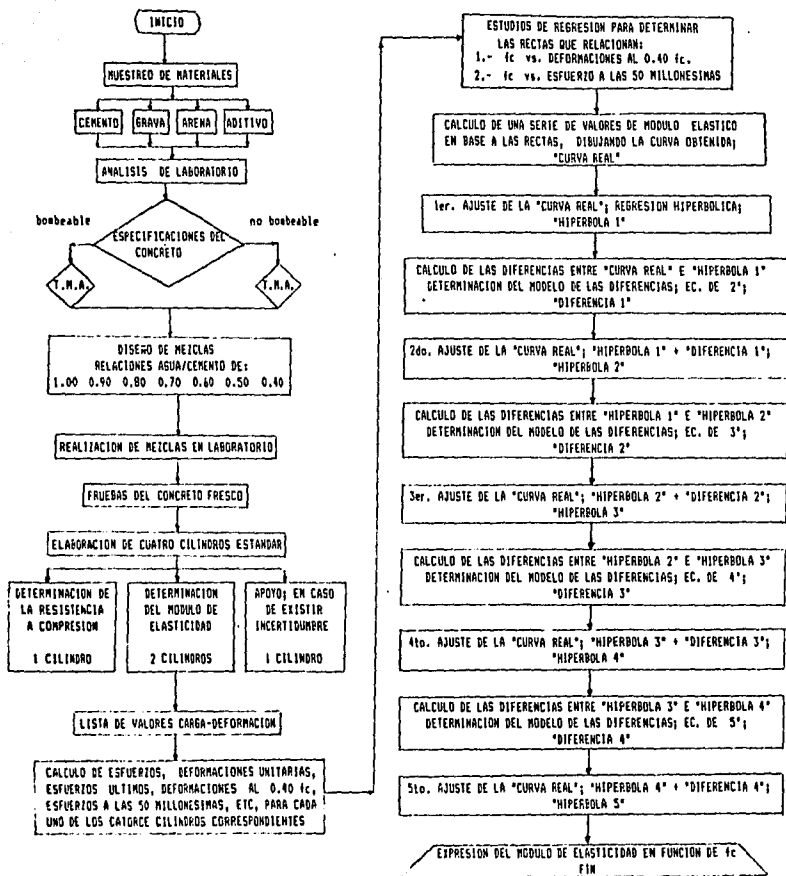


2.- No se pretende que las expresiones obtenidas citadas sean empleadas en rigor, pues podemos aun afectar estas por factores de seguridad puestos a juicio, pero teniendo la certidumbre de estar apegados a un comportamiento fiel a la realidad como se puede ver en la siguiente gráfica G.V.3.



3.- A manera de síntesis se presenta el siguiente diagrama, que a un golpe de vista, nos recuerda paso a paso el desarrollo del método.

DIAGRAMA DEL METODO PARA LA OBTENCION DEL MODELO MATEMATICO
QUE DEFINE EL COMPORTAMIENTO ELASTICO DEL CONCRETO;



El objetivo de este trabajo, como se mencionó desde un principio, es disponer de un método por medio del cual se pueda obtener la Expresión Numérica, que más fielmente traduzca el comportamiento elástico de un concreto en particular.

Estamos convencidos de que es necesario, comenzando con nuestro País, conocer cual es realmente el comportamiento elástico de los concretos que se producen en las diferentes localidades. A lo largo y ancho de nuestro territorio, tenemos agregados pétreos de muy diferentes características, los hay: Densos, porosos, resistentes, intemperizados, ásperos, rugosos, angulosos, equidimensionales, limpios, bien graduados, gruesos, polvosos, etc.. Por otro lado, utilizamos también cementos de diferentes tipos y características, por citar un ejemplo: Para los mismos agregados pétreos, si disponemos de dos diferentes cementos, digamos un Portland Tipo I y un Portland Puzzolánico; debido a sus diferentes propiedades hidráulicas nos darán diseños de mezclas distintos, que a su vez, tendrán diferentes respuestas elásticas.

Por otra parte en la actualidad, - es un hecho que debemos aceptar, - el procedimiento constructivo muchas veces nos determina las características del concreto que deberá utilizarse. Nos referimos específicamente al empleo generalizado de concretos con aptitud para ser bombeados, los que a su vez tendrán diseños bien diferentes dependiendo de las características de los agregados, y de si se emplean o no aditivos, así como de las características y tipo de los mismos.

La intención al escribir estas líneas que muestran obstinación, no es otra más que la de transmitir a quien como nosotros se ha dedicado al estudio de éste material; Que hoy por hoy, no debemos permitir que se continúe con la creencia de que todos los diferentes concretos que se producen en México, tendrán el mismo comportamiento elástico.

Estamos convencidos de que sería benéfico, tanto por seguridad como por optimización en los costos, que nuestros Estructuristas como punto de partida para sus diseños, conocieran con mayor precisión, el valor numérico del parámetro que define el comportamiento elástico del concreto que van a utilizar.

Por lo anterior es que de éste método se ha realizado un Programa para Computadora, que se utiliza para obtener los modelos matemáticos, que nos permiten conocer los valores de "E" para cada región y por primera vez, obteniendo información específica para concretos bombeables.

En resumen, para obtener el Modelo Matemático que nos permita conocer en función de la resistencia a la compresión del concreto, el valor de su Módulo de Elasticidad dependiendo del tipo de materiales de una región determinada, se debe hacer lo siguiente:

- 1.- Muestrear los materiales disponibles en las cantidades suficientes, para llevar a cabo una serie de siete mezclas de Laboratorio del orden de 60 lts. cada una.
- 2.- Diseñar las mezclas de concreto* que cubran la gama de resistencias comunmente utilizadas en las construcciones; Pensamos en Relaciones Agua/Cemento de 0.40; 0.50; 0.60; 0.70; 0.80; 0.90; 1.00.
- 3.- Realizar las mezclas en Laboratorio y para cada una:
 - Determinar el Peso Volumétrico.
 - Elaborar cuatro cilindros estándar
- 4.- A la edad de 28 días:
 - Determinar la resistencia a compresión, ensayando uno de los cilindros.
 - Obtener las lecturas de Carga-Deformación. para determinar el Módulo de Elasticidad en dos de los cilindros.
 - El cuarto cilindro será de apoyo, de existir alguna incertidumbre posteriormente.
- 5.- Alimentar al Programa con los valores de Carga-Deformación obtenidos al ensayar los catorce cilindros de prueba.

* Nota:

El diseño de las mezclas, se hará de acuerdo con las características deseadas del concreto, a saber Revenimiento y Tamaño Máximo del Agregado.

V.2.- La Paradoja Elástica.

Al calcular el Módulo de Elasticidad de un determinado concreto, conforme a la expresión que se marca en el método N.O.M. C-128-82; Dependiendo de que se considere el valor de resistencia "fc" como el esfuerzo de ruptura "fcult", o como el esfuerzo de diseño "f'c", se obtendrán diferentes valores numéricos de "E".

La curva Esfuerzo-Deformación resultante del ensaye del espécimen, es única para ese concreto, independientemente de la resistencia que se desee considerar.

En primera instancia se podría pensar que; Si tomamos como "fc" a la resistencia de ruptura y ésta ha rebasado a la de diseño "f'c", el valor de "E" será mayor, sin embargo lo curioso es que sucede justamente lo contrario, esto es, el valor de "E" disminuye. Por consiguiente a este fenómeno le hemos dado en llamar La Paradoja Elástica y se ejemplifica a continuación:

Se va a determinar el Módulo de Elásticidad de un concreto cuyas especificaciones solicitadas son:

f'c : 300 kg/cm²

Tipo : Normal

T.M.A. : 20 mm.

Clase : 1 ==> debe cumplir con E >= 14000 f'c^{0.5}

Rev. : 12 cm.

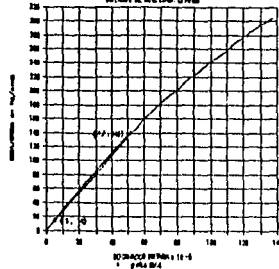
1.- El primer criterio que se adopta es considerar a la "fc" como la f'c, por lo tanto únicamente se aplica carga hasta que el esfuerzo a compresión es de 300 kg/cm². Como ya se explicó anteriormente, se procede a la determinación del Módulo Elástico -la lista de valores y los resultados obtenidos se presentan en la tabla T.V.1., donde además se aprecia la gráfica correspondiente.

2.- Como segundo criterio, se toma ahora a la "fc" como la resistencia última, es decir se aplica carga hasta la ruptura e igualmente se determina el nuevo valor del Módulo, los resultados se presentan en la tabla T.V.2, y en la gráfica G.V.4. se pueden observar las rectas de los casos.

TABLA DE VALORES

No.	CARGA Ton.	DEFORMACIONES			DEFORMACION MEDIA 0.01mm.	DEFORMACION MAYOR 0.01mm.	ESFUERZO kg/cm ²
		1 0.01mm.	2 0.01mm.	3 0.01mm.			
1	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	
2	1	5.00	2.00	3.50	0.000023	5.65	
3	2	8.00	4.00	6.00	0.000040	11.30	
4	3	11.00	6.00	9.50	0.000063	16.95	
5	4	12.00	11.00	11.50	0.000077	22.60	
6	5	14.00	14.00	14.00	0.000093	28.25	
7	6	16.00	18.00	17.00	0.000113	33.90	
8	7	19.00	22.00	20.50	0.000137	39.55	
9	8	21.00	25.00	23.00	0.000155	45.20	
10	9	23.00	30.00	26.50	0.000177	50.85	
11	10	25.00	34.00	29.50	0.000193	56.50	
12	12	30.00	40.00	35.00	0.000233	67.80	
13	14	35.00	48.00	41.50	0.000277	79.10	
14	16	40.00	55.00	47.50	0.000317	90.40	
15	18	46.00	62.00	54.00	0.000360	101.69	
16	20	52.00	70.00	61.00	0.000407	112.99	
17	22	58.00	77.00	67.50	0.000450	124.29	
18	24	65.00	84.00	74.50	0.000497	135.59	
19	26	72.00	94.00	83.00	0.000553	146.89	
20	28	78.00	100.00	89.00	0.000593	158.19	
21	30	85.00	110.00	97.50	0.000650	169.49	
22	32	93.00	116.00	104.50	0.000697	180.79	
23	34	100.00	125.00	112.50	0.000750	192.09	
24	36	108.00	134.00	121.00	0.000807	203.39	
25	38	115.00	142.00	128.50	0.000855	214.69	
26	40	124.00	153.00	138.50	0.000923	225.99	
27	42	132.00	160.00	146.00	0.000973	237.29	
28	44	141.00	173.00	157.00	0.001047	248.59	
29	46	149.00	182.00	165.50	0.001103	259.89	
30	48	157.00	190.00	173.50	0.001155	271.19	
31	50	166.00	202.00	184.00	0.001227	282.49	
32	52	176.00	213.00	194.50	0.001297	293.79	
33	54	187.00	225.00	206.00	0.001373	305.09	
34	56	198.00	238.00	218.00	0.001453	316.39	
35	58	208.00	250.00	229.00	0.001527	327.69	
36	60	219.00	263.00	241.00	0.001607	338.99	
37	62	230.00	278.00	254.00	0.001693	350.29	
38				0.00	0.000000	0.00	
39				0.00	0.000000	0.00	
40				0.00	0.000000	0.00	
41				0.00	0.000000	0.00	
42				0.00	0.000000	0.00	
43				0.00	0.000000	0.00	
44				0.00	0.000000	0.00	
45				0.00	0.000000	0.00	

CURVA ESFUZO - DEF. UNIT. DEL CONCRETO
OPORTUNO DE 28 DÍAS



CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS			
MATERIAL	PROVENENCIA	CLASIFICACION	P. M.
GRAVA	RDO. DE MEXICO	BASALTO	2.72
ARENA	RDO. DE MEXICO	ANDESITA	2.33
CONCRETO		ESPACIEN	
f'c kg/cm ²	350	REFERENCIA	3308-1
TIPO	N	EDAD en días	28
T.M.A. mm	20	DIAMETRO en cms	15.00
REV. cms	10	CARGA ULTIMA ton	54.00
RESULTADOS			
f'c ULTIMO kg/cm ²	351	MODELO ELASTICO	
40% f'c R. kg/cm ²	140	MODELO "R" en kg/cm ²	
f'c a d=0.00050	13.74		269007
d a 40% de f'c	0.000517		

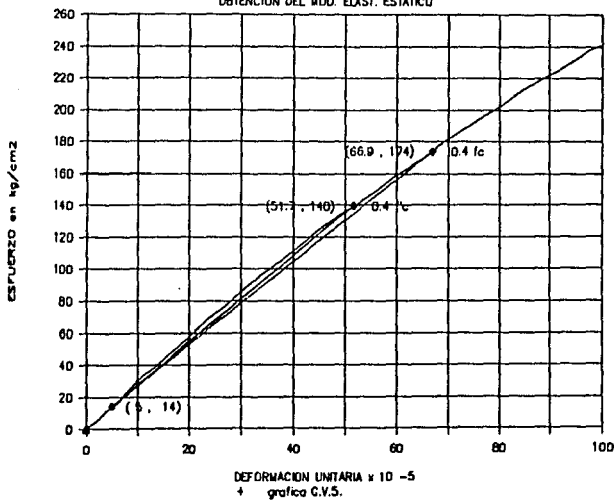
Tabla T.V.1.- Determinación del Modelo Elástico del Concreto

CONCRETO		ESPECIMEN		RESULTADOS		
$f'c$ kg/cm ²	350	REFERENCIA	3308-4	f_c ULTIMO kg/cm ²	436	MODULO ELASTICO
TIPO	II	EDAD en días	28	40% f_c U. kg/cm ²	174	MODULO "E" en kg/cm ² :
T.N.A. mm	20	DIAMETRO en cms	15.00	f_c a $d=0.000850$	13.74	259500
ENV. cms	10	CARGA ULTIMA ton	77.00	d a 40% de f_c	0.008660	

tabla T.T.2. Modulo de Elasticidad, considerando a la f_c como la Resistencia Ultima.

CURVA ESFUZO - DEF. UNIT. DEL CONCRETO

OBTENCION DEL MOD. ELAST. ESTATICO



Da la impresión de que es negativo el hecho de que el concreto utilizado para una estructura tenga una capacidad de carga mayor a $f'c$.

Si el cálculo se ha realizado conservadoramente, es poco probable que el concreto se vea solicitado para resistir esfuerzos por encima de lo previsto y en consecuencia su deformación será la considerada.

Ahora bien, si por circunstancias extraordinarias el concreto se viera sometido a esfuerzos tan altos como su resistencia de diseño, o aún mayores, independientemente de presentar deformaciones mayores e irreversibles, NO FALLARIA.

Por lo anterior consideramos prudente reflexionar acerca de esta situación, ya que si se ha especificado un valor mínimo de "E" como elemento de aceptación del concreto, pudiera resultar que un determinado concreto, que cumpliera satisfactoriamente con la resistencia de diseño y que a la vez sus deformaciones dentro del rango elástico para ese valor de resistencia fueran las especificadas, por el hecho de que su resistencia a la ruptura rebasara significativamente a la de diseño, podría parecer como que tiene un Módulo de Elasticidad menor al especificado y rechazarse. En otras palabras si únicamente utilizamos como criterio de aceptación de un concreto su valor numérico de "E", pretendiendo garantizar que el concreto no se deforme por encima de un determinado límite. Puede suceder que aceptamos concretos que para un mismo esfuerzo de trabajo se deformen más que otros, que además alcanzan esfuerzos de ruptura muy superiores.

En el fondo, la razón de lo anterior radica en que ese concreto que fué aceptado siguiendo el criterio de un valor mínimo de "E" a pesar de ser más deformable, presentó una resistencia de ruptura igual o incluso menor que $f'c$.

BIBLIOGRAFIA

- Tecnología del Concreto
A. M. Neville.
Tomos I y II
IMCYC (1983)
- Manual del Concreto
Tomos I y II
S. R. H. (1970).
- Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado
Oscar M. González Cuevas.
LIMUSA (1977).
- Introducción a la Mecánica de Sólidos
Egor E. Popov.
LIMUSA (1970)
- Nuevas Normas Técnicas Complementarias para el Reglamento de las Construcciones del Distrito Federal.
Gaceta Oficial Del D. D. F.
- Estadística
Murray R. Spiegel
McGraw-Hill. (1973).
- Normas Oficiales Mexicanas:
 - NOM-C-128-82 Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson.
 - NOM-C- 83 Determinación de la Resistencia a Compresión de Cilindros de Concreto.
 - NOM-C-159 Elaboración y Curado en el Laboratorio de espécimenes de Concreto.
 - NOM-C-160 Elaboración y Curado en obra de espécimenes de Concreto.
- Método Numérico para el Diseño Optimo de Mezclas de Concreto.
E. M. A. Y.
Tesis Profesional.- Ing. Civil.- UNAM.- 1988.
- El Ascenso del Hombre
Jacob Bronowski
Fondo Educativo Interamericano (1973).