

ANALISIS DE NIVELES DE  
SEGURIDAD EN TUNELES  
Y GALERIAS

CARACTERIZACION DE LAS  
VARIABLES BASICAS

Preparado por: Sagrario Gómez-Lera - E. Laso  
Revisado por: E. ALARCON

Referencia: SNX-MN-08  
Fecha: Julio-1991

**ANALISIS DE LA SEGURIDAD  
EN  
TUNELES**

**CARACTERIZACION  
DE LAS  
VARIABLES**

**JULIO 1991**

## INTRODUCCION

Este informe pretende :

- 1º.- Caracterizar el comportamiento de las Variables Básicas del problema que controlan la respuesta del sistema; dicho de otro modo, se busca identificar que variables se comportan como carga y cuales como resistencia en los distintos Estados Límites.
- 2º.- Realizar un análisis comparativo de los niveles de seguridad obtenidos por métodos deterministas y probabilistas.
- 3º.- Estudiar el grado de influencia de la incertidumbre de las variables en los niveles de seguridad.
- 4º.- Analizar que Estados Límites son mas desfavorables.

Para ello, con ayuda del programa "ANISSET", y considerando como variables básicas, las doce que se relacionan en la TABLA-1, se han analizado 21 casos que corresponden al estudio de la variación de la respuesta del sistema al modificar los valores medios y coeficientes de variación de las siete variables siguientes:

- \* Módulo de Elasticidad
- \* Peso Especifico
- \* Cohesión
- \* Angulo de Rozamiento
- \* Convergencia Inicial
- \* Resistencia del hormigón
- \* Espesor

Los valores máximos se han mantenido constantes para todos los casos estudiados y son los presentados en la TABLA-2 .

<b>TERRENO</b>		
	V.medio	V %
1 : Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	33500	20
2 : Coeficiente de Poisson	0.19	--
3 : Peso Especifico (kg/cm <sup>3</sup> )	0.0023	20
4 : Profundidad (cm)	10000	--
5 : Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	2.2	20
6 : Angulo de Rozamiento (°)	27	20
<b>SOSTENIMIENTO</b>		
	V.medio	V %
7 : Convergencia Inicial (cm)	0.5	20
8 : Resistencia del Hormigón (kg/cm <sup>2</sup> )	250	20
9 : Espesor (cm)	20	15
10 : Radio (cm)	5500	--
11 : Cuantía de las armaduras	0.002	--
12 : Cuantía de las cerchas	0.0085	--

TABLA-1

<b>SOSTENIMIENTO</b>	
* Desplazamiento (cm) .....	2
* Deformación .....	0.002
<b>TERRENO</b>	
* Índice de Plastificación .....	2
<b>ACERO</b>	
* Tensión (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	2600
* Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> ) ..	2100000
<b>HORMIGON</b>	
* Coeficiente de Fluencia .....	0
* Coeficiente de Fatiga .....	1

TABLA-2

En lo que se refiere a la forma de evaluar la seguridad, se han escogido como indicadores de la misma, el tradicional Coeficiente de Seguridad (FS), y el Índice de Fiabilidad ( ) , definidos para los tres Estados Límites, considerados inicialmente como mas restrictivos, en la forma siguiente:

I.- AGOTAMIENTO DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DEL TERRENO  
( RADIO DE PLASTIFICACION )

$$FS = \frac{2}{(P/R)_{\text{m}}}$$

$$\beta = \frac{\mu_{FF}}{\sigma_{FF}} \quad ; \quad FF = 2 - P/R$$

II.- CONVERGENCIA EXCESIVA DEL SOSTENIMIENTO  
( DESPLAZAMIENTO )

$$FS = \frac{u_{\text{max}}}{(u_s - u_0)_{\text{m}}}$$

$$\beta = \frac{\mu_{FF}}{\sigma_{FF}} \quad ; \quad FF = u_{\text{max}} - (u_s - u_0)$$

III.- AGOTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL SOSTENIMIENTO  
( DEFORMACION )

$$FS = \frac{\epsilon_{\text{max}}}{\epsilon_s}$$

$$\beta = \frac{\mu_{FF}}{\sigma_{FF}} \quad ; \quad FF = \epsilon_{\text{max}} - \epsilon_s$$

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE			MATICES BETA-FS	VARIACION %		
	I	II	III		I	II	III
FI	R	R	R	NO	40	9	10
GA	C	C	C	NO	1	23	23
T	R	R	R	SI	2	6	7
Et	C	R	R	SI	1.3	4	4
COHE	R	R	R	NO	1.1	1.1	1.1
Uo	C	R	R	SI	1	1	1
Fc	R	R	R	NO	1.5	5	5

R = VARIABLE DE RESISTENCIA

C = VARIABLE DE CARGA

**MODULO DE ELASTICIDAD  
DEL  
TERRENO**

MODULO DE ELASTICIDAD DEL TERRENO (kg/cm<sup>2</sup>)  
23500

RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.5434		DESPLAZAMIENTO FS = 6.5898		DEFORMACION FS = 3.6244	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.5688	0	6.5339	0	2.8745
10	3.5343	10	6.3208	10	2.7709
15	3.4969	15	6.0911	15	2.6606
20	3.4455	20	5.7971	20	2.5197

MODULO DE ELASTICIDAD DEL TERRENO (kg/cm<sup>2</sup>)  
33500

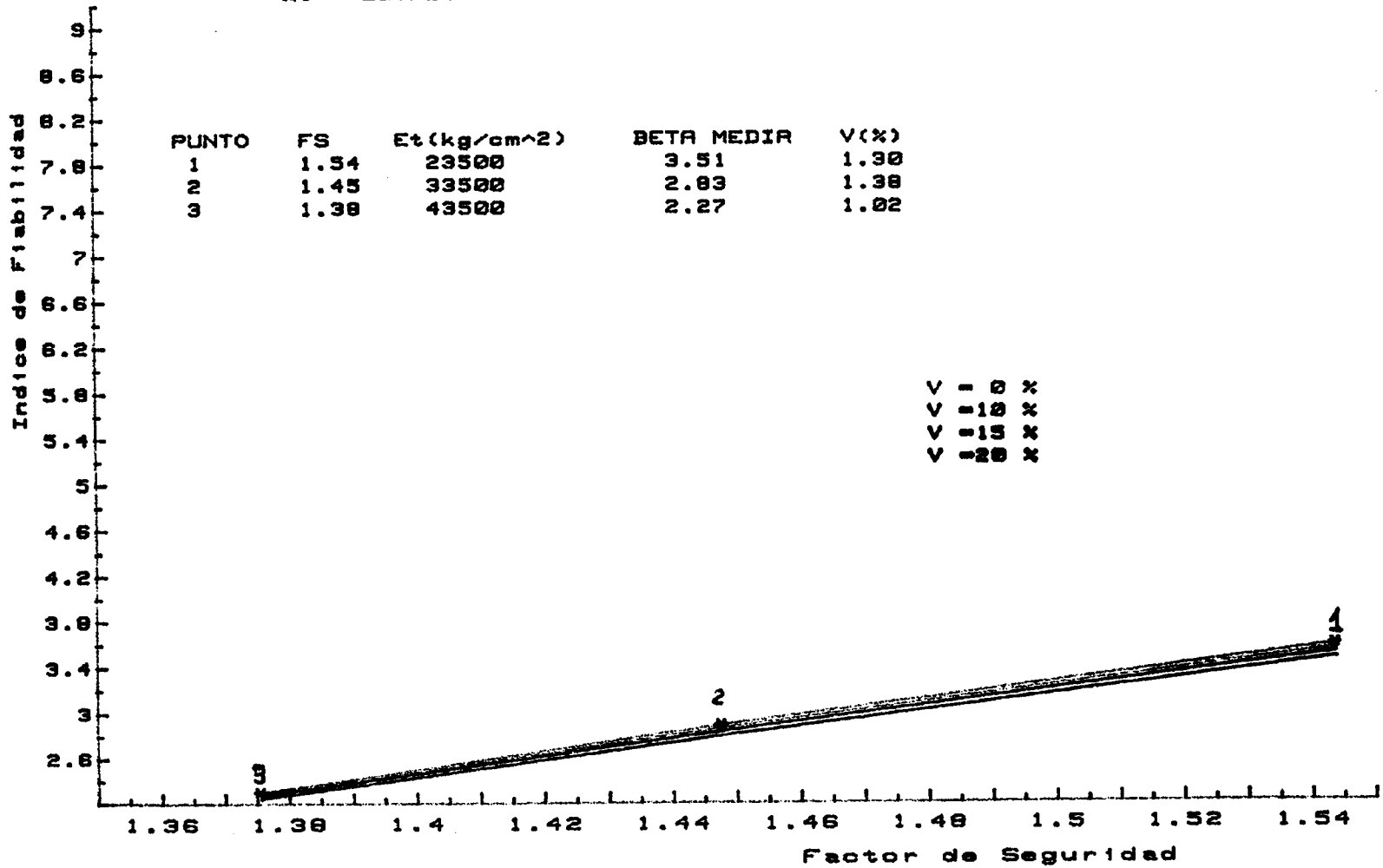
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.7603		DEFORMACION FS = 4.8181	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.8787	0	9.7668	0	4.6110
10	2.8509	10	9.5144	10	4.4851
15	2.8167	15	9.2116	15	4.3335
20	2.7742	20	8.8534	20	4.1539

MODULO DE ELASTICIDAD DEL TERRENO (kg/cm<sup>2</sup>)  
43500

RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.3756		DESPLAZAMIENTO FS = 10.5639		DEFORMACION FS = 5.8101	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.2964	0	12.1972	0	5.9572
10	2.2812	10	11.9967	10	5.8546
15	2.2624	15	11.7544	15	5.7305
20	2.2343	20	11.3516	20	5.5247

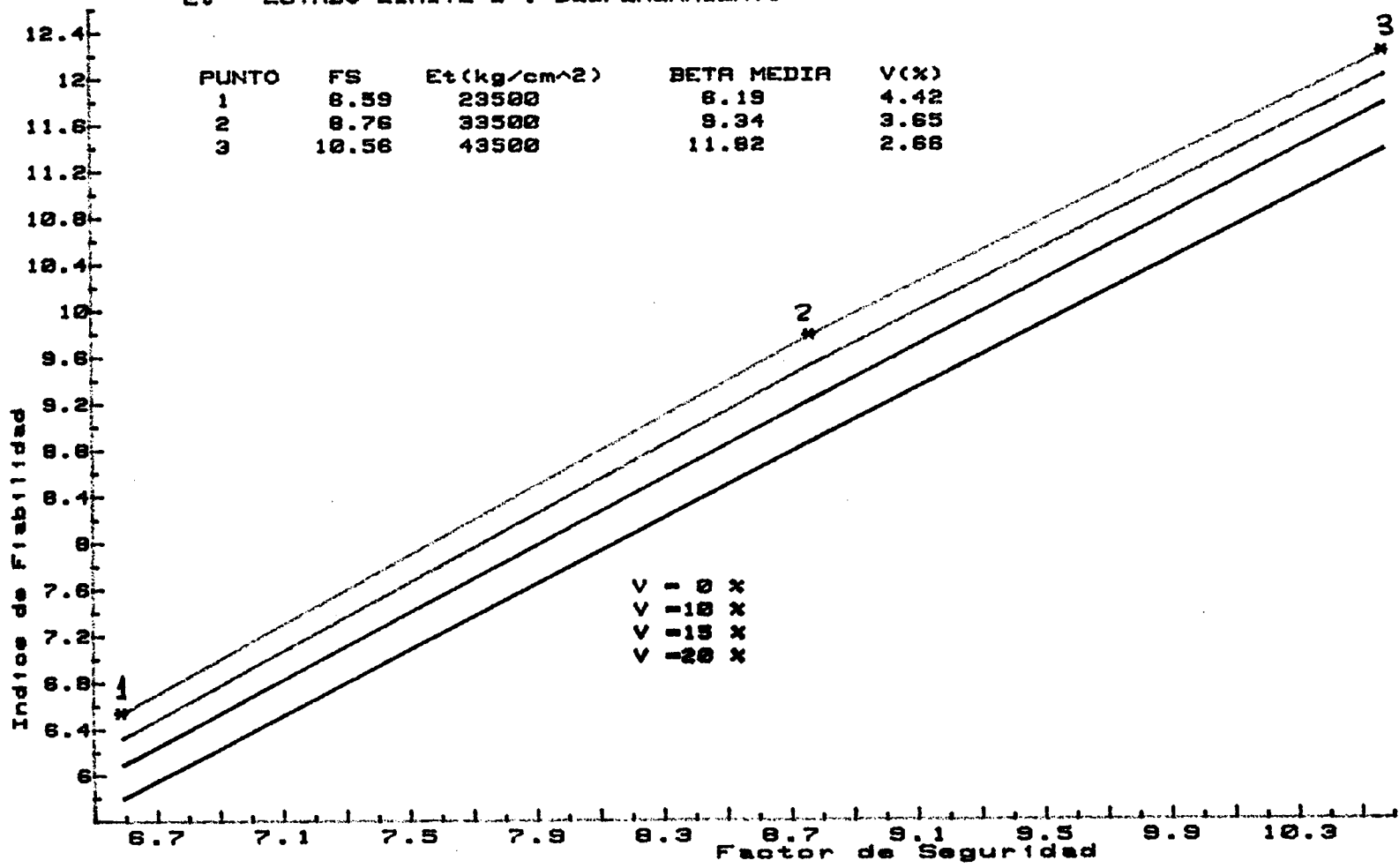


Et - ESTADO LIMITE 1 : RADIO DE PLASTIFICACION



**Et - ESTADO LIMITE 2 : DESPLAZAMIENTO**

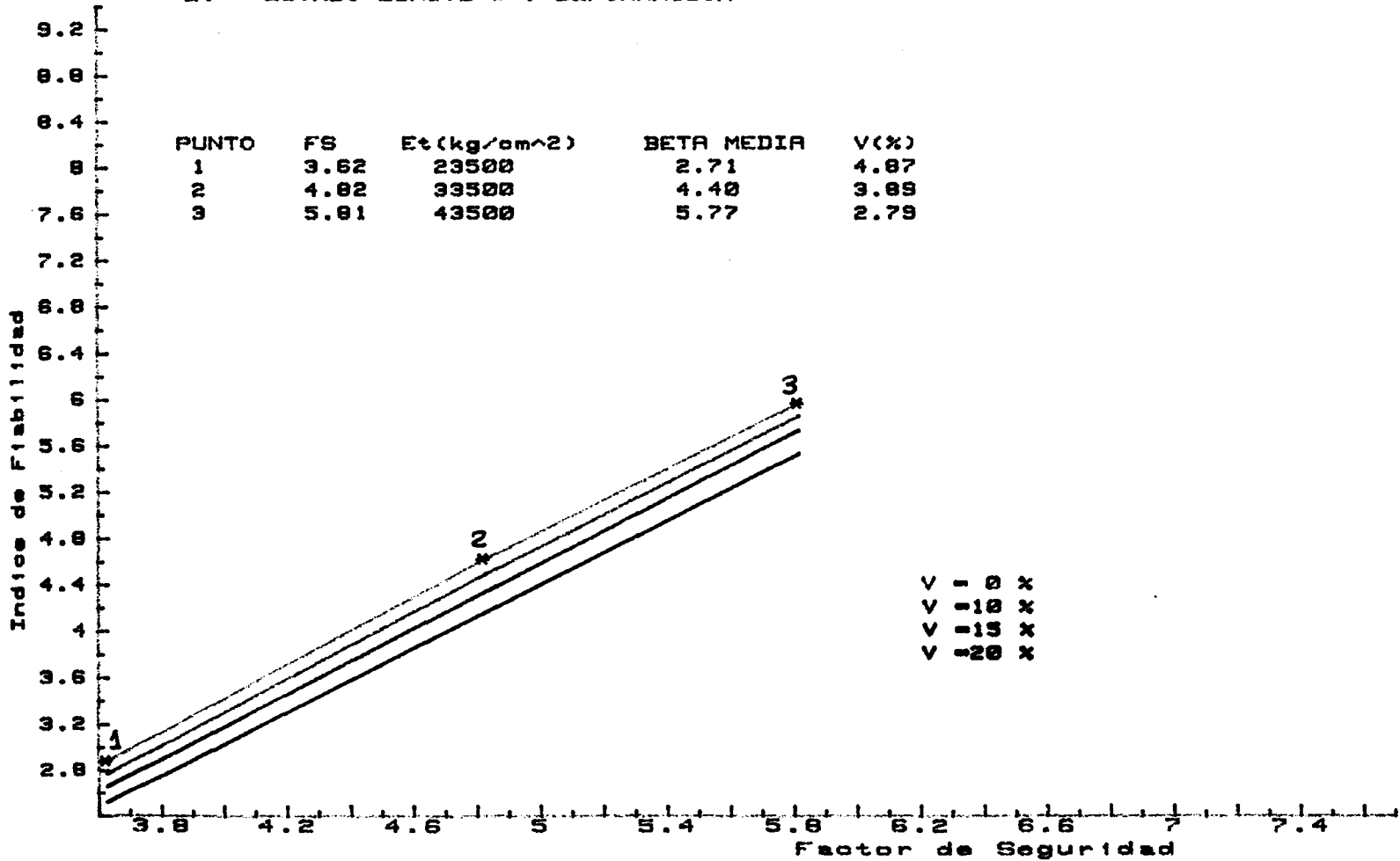
PUNTO	FS	Et(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	8.59	29500	8.19	4.42
2	8.76	33500	9.34	3.65
3	10.56	43500	11.82	2.68



V = 10 %  
 V = 15 %  
 V = 20 %

Et - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION

PUNTO	FS	Et (kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	3.62	23500	2.71	4.87
2	4.82	33500	4.40	3.89
3	5.81	43500	5.77	2.79

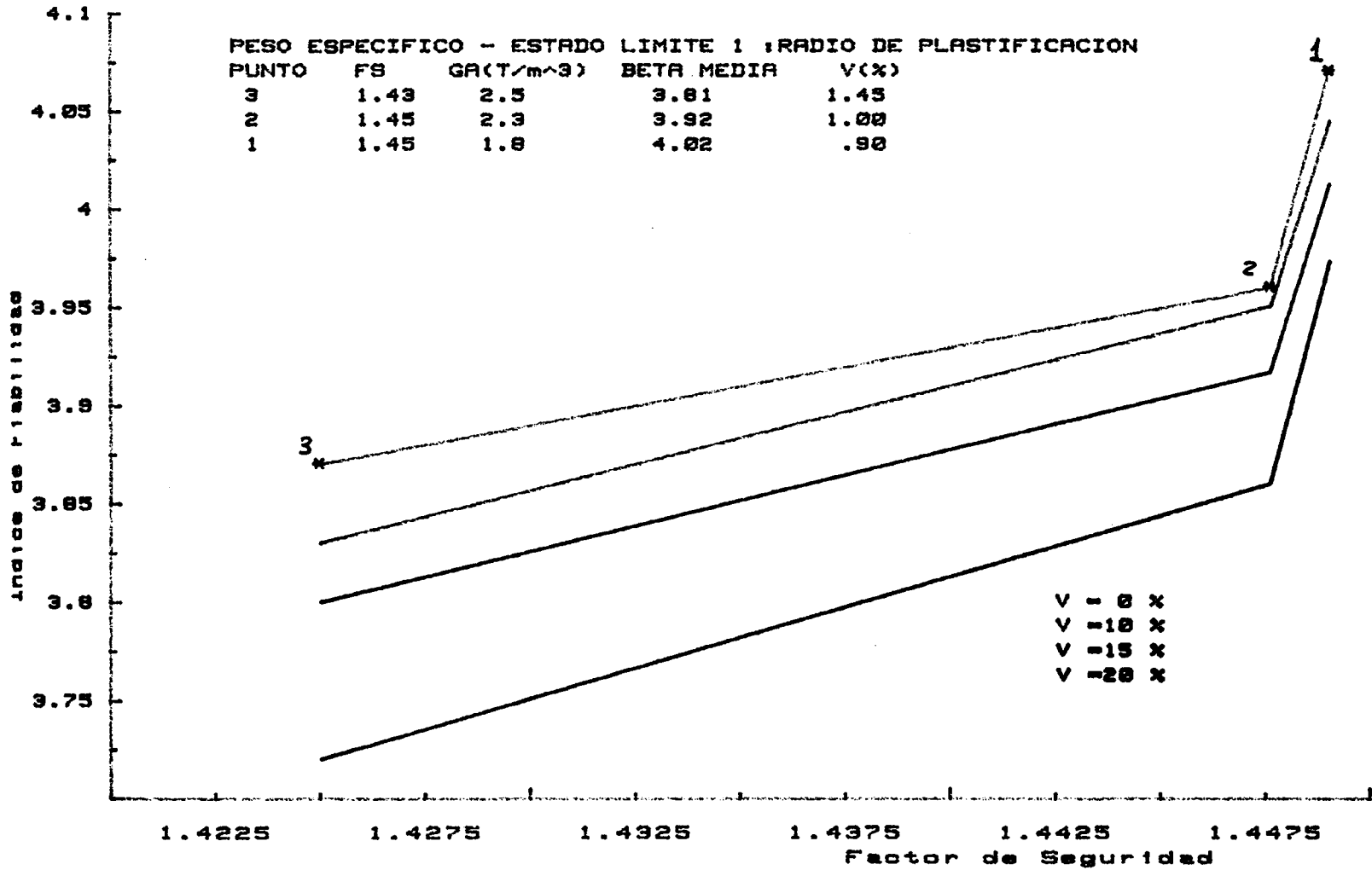


**PESO ESPECIFICO**

PESO ESPECIFICO (T/m <sup>3</sup> ) 1.8					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4490		DESPLAZAMIENTO FS = 14.89		DEFORMACION FS = 8.19	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	4.070	0	36.300	0	18.700
10	4.044	10	28.600	10	14.700
15	4.012	15	23.500	15	12.089
20	3.973	20	19.475	20	10.000
PESO ESPECIFICO (T/m <sup>3</sup> ) 2.3					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.76		DEFORMACION FS = 4.818	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.9600	0	19.500	0	9.400
10	3.9504	10	15.870	10	7.660
15	3.9170	15	13.212	15	6.362
20	3.8600	20	10.820	20	5.190
PESO ESPECIFICO (T/m <sup>3</sup> ) 2.5					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4248		DESPLAZAMIENTO FS = 7.18		DEFORMACION FS = 3.95	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.87	0	15.45	0	7.220
10	3.83	10	12.33	10	5.746
15	3.80	15	10.20	15	4.740
20	3.72	20	8.25	20	3.810

PESO ESPECIFICO - ESTADO LIMITE 1 : RADIO DE PLASTIFICACION

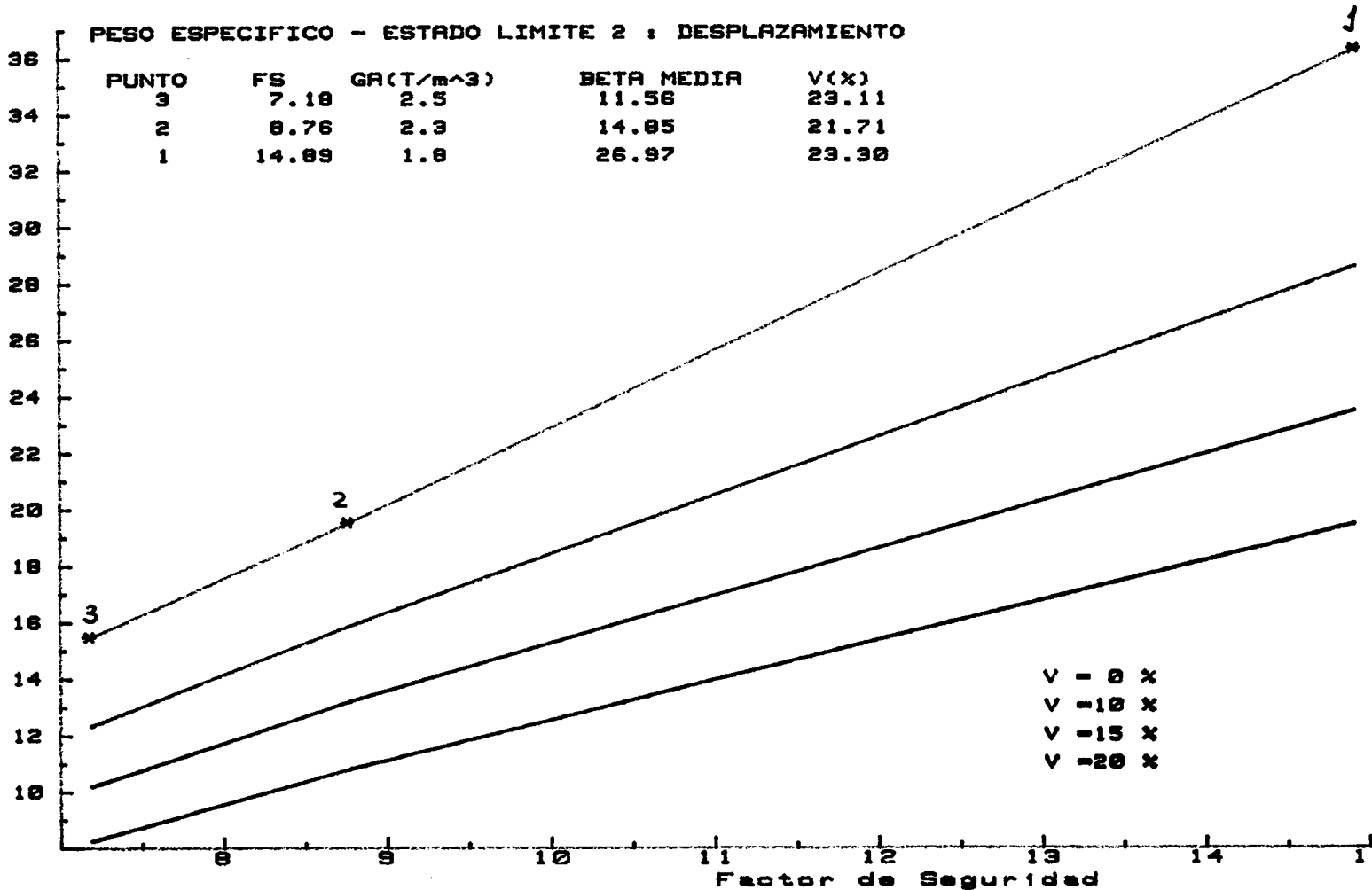
PUNTO	FS	GA(T/m <sup>3</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
3	1.43	2.5	3.81	1.45
2	1.45	2.3	3.92	1.00
1	1.45	1.8	4.02	.90



PESO ESPECIFICO - ESTADO LIMITE 2 : DESPLAZAMIENTO

PUNTO	FS	GA(T/m <sup>3</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
3	7.18	2.5	11.56	23.11
2	8.76	2.3	14.85	21.71
1	14.89	1.8	26.97	23.30

Indice de Fiabilidad



V = 0 %  
 V = 10 %  
 V = 15 %  
 V = 20 %

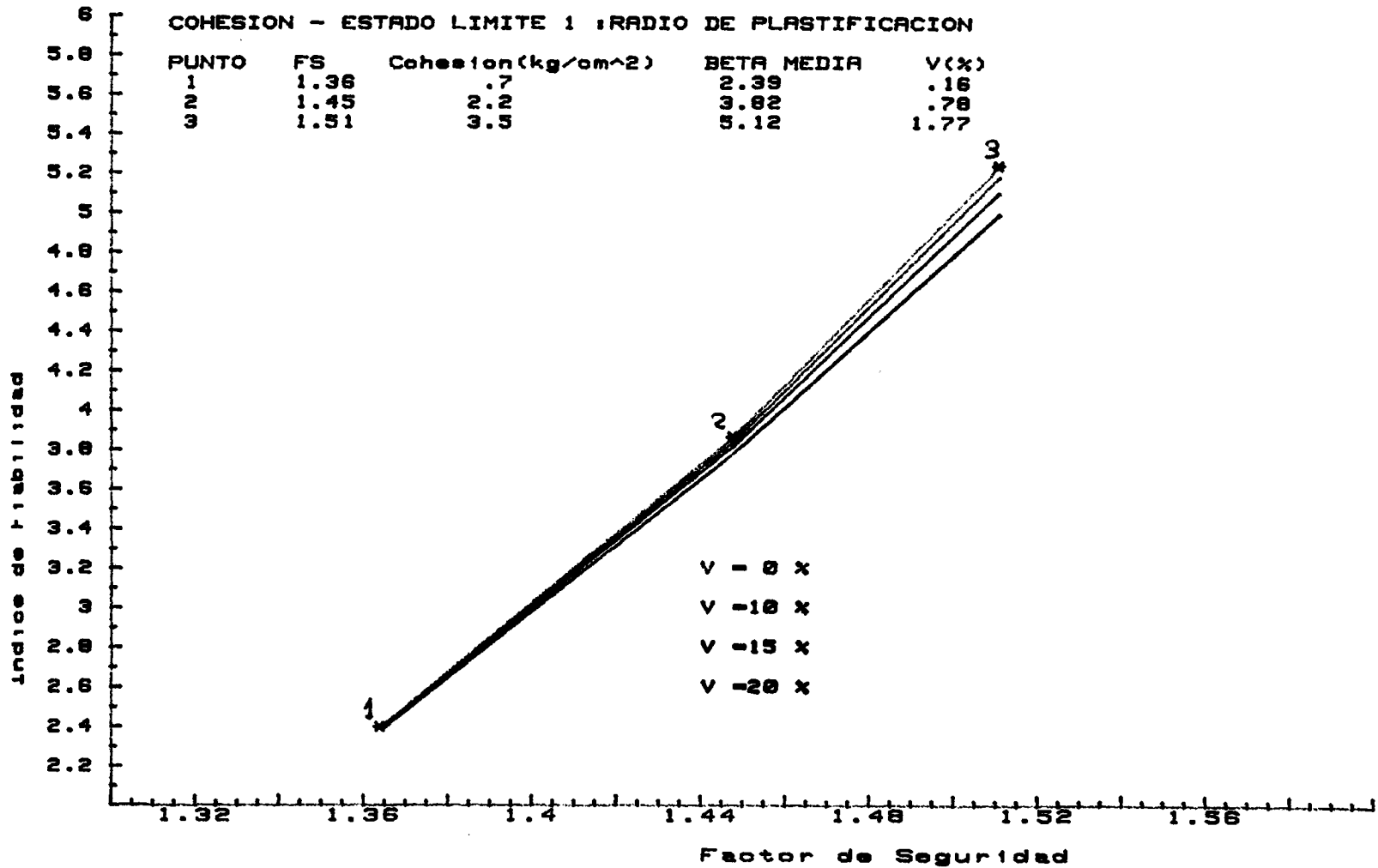
# COHESION



COHESION 0.7 (kg/cm <sup>2</sup> )					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.3641		DESPLAZAMIENTO FS = 6.13		DEFORMACION FS = 3.3715	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.2341	0	6.3044	0	2.7697
10	2.3919	10	6.2938	10	2.7648
15	2.3892	15	6.2799	15	2.7584
20	2.3841	20	6.2531	20	2.7458
COHESION 2.2 (kg/cm <sup>2</sup> )					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.7603		DEFORMACION FS = 4.8182	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.8600	0	10.8222	0	5.1916
10	3.8400	10	10.7495	10	5.1557
15	3.8152	15	10.6582	15	5.1107
20	3.7800	20	10.5462	20	5.0553
COHESION 3.5 (kg/cm <sup>2</sup> )					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.5101		DESPLAZAMIENTO FS = 11.6245		DEFORMACION FS = 6.3935	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	5.2392	0	13.7609	0	6.8893
10	5.1766	10	13.6108	10	6.8124
15	5.0981	15	13.4140	15	6.7115
20	4.9896	20	13.1330	20	6.5674

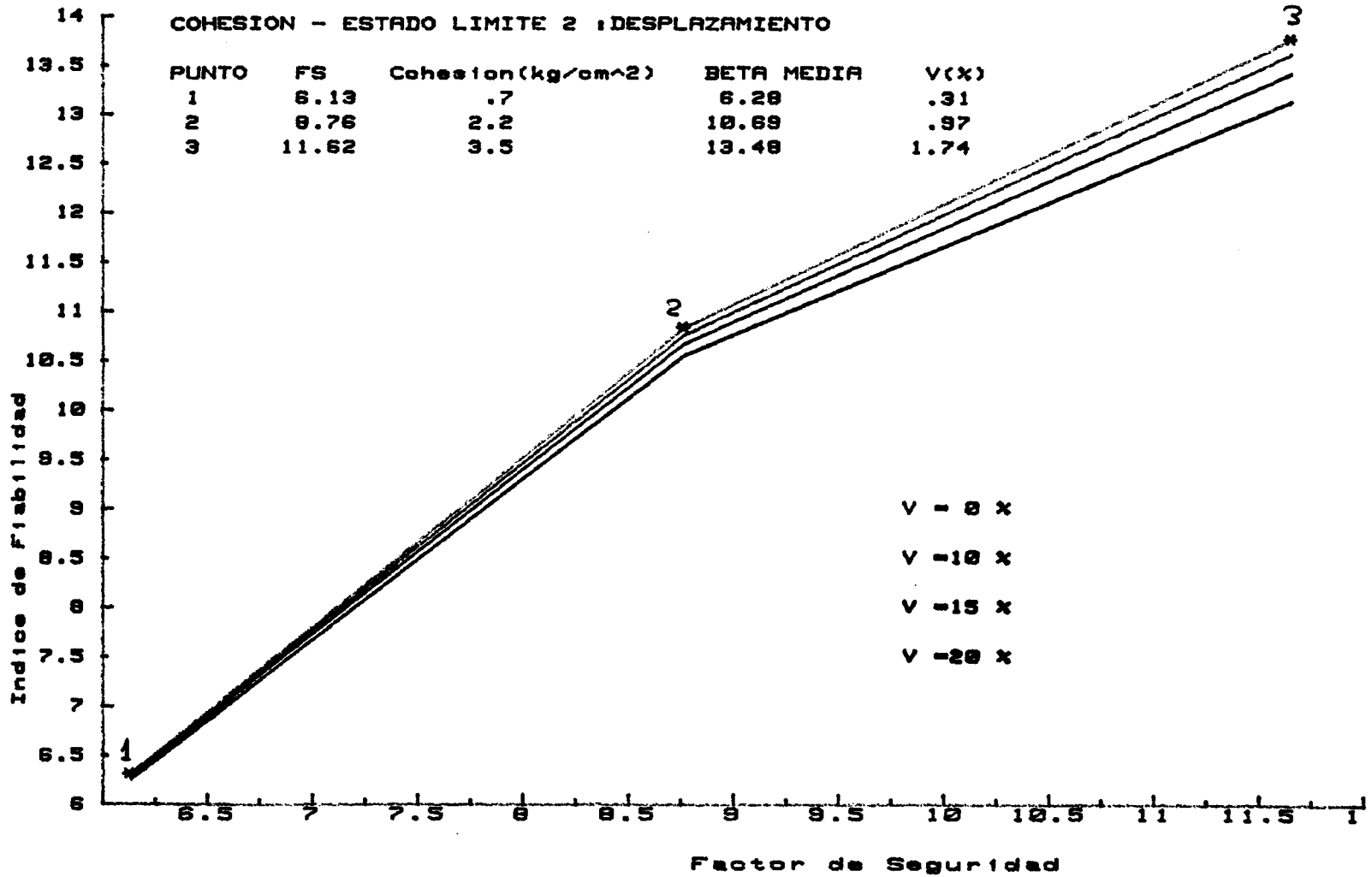
COHESION - ESTADO LIMITE 1 : RADIO DE PLASTIFICACION

PUNTO	FS	Cohesion(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	1.36	.7	2.39	.16
2	1.45	2.2	3.82	.78
3	1.51	3.5	5.12	1.77



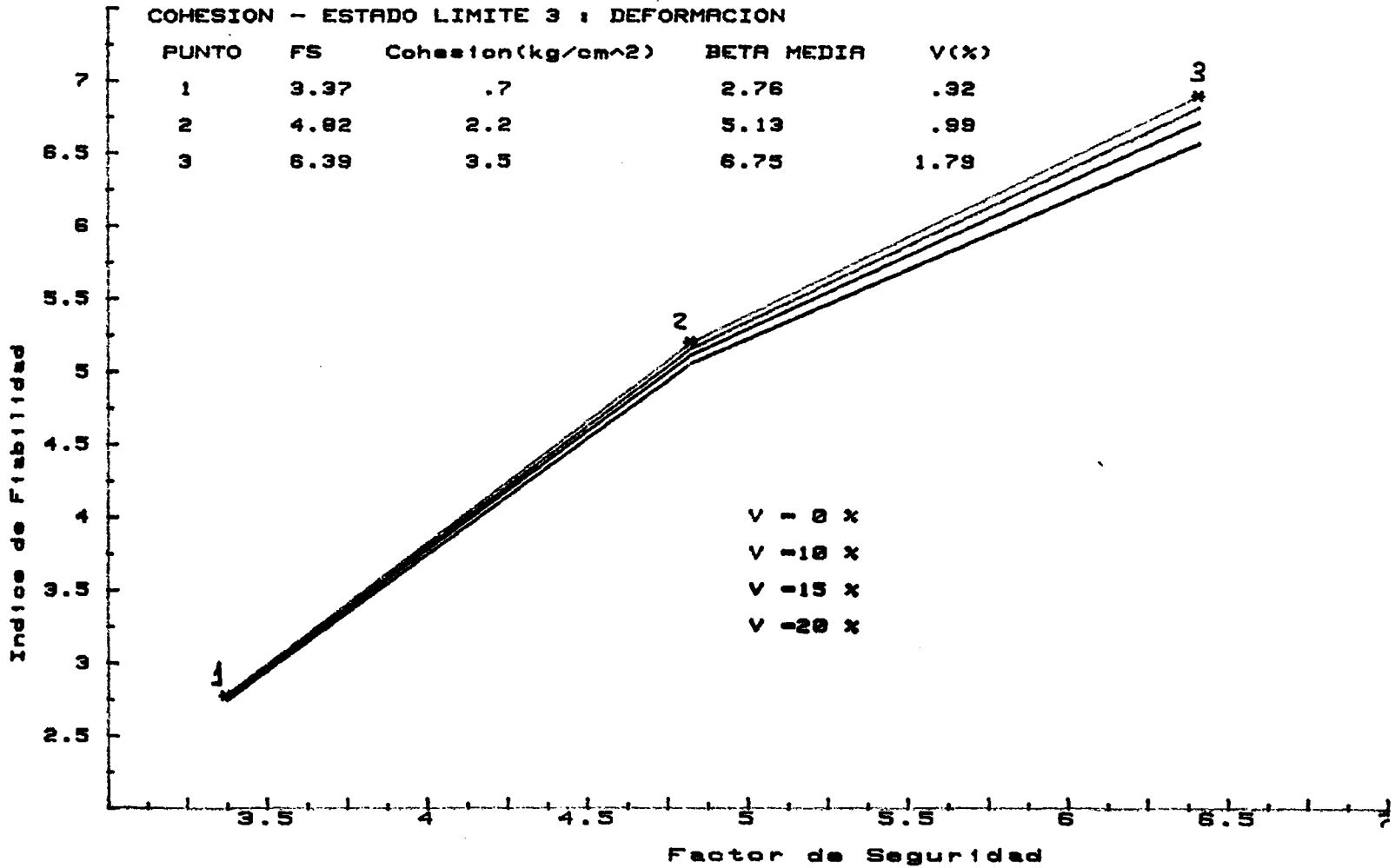
COHESION - ESTADO LIMITE 2 : DESPLAZAMIENTO

PUNTO	FS	Cohesion(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(x)
1	6.13	.7	6.28	.31
2	8.76	2.2	10.69	.97
3	11.62	3.5	13.48	1.74



COHESION - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION

PUNTO	FS	Cohesion(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	3.37	.7	2.76	.92
2	4.82	2.2	5.13	.99
3	6.39	3.5	6.75	1.79



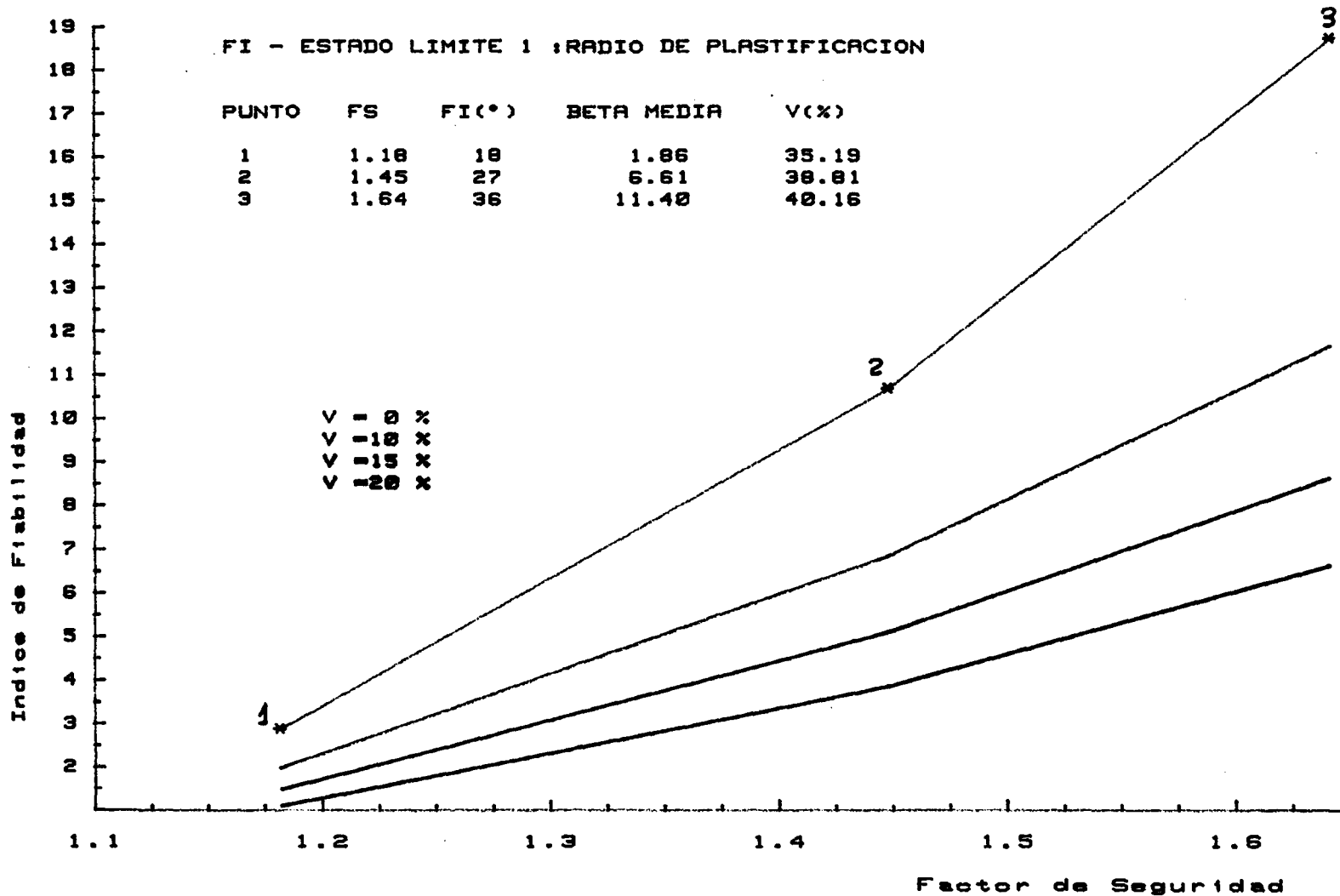
**ANGULO  
DE  
ROZAMIENTO**

ANGULO DE ROZAMIENTO 18º					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.1819		DESPLAZAMIENTO FS = 5.5926		DEFORMACION FS = 3.0759	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.8646	0	6.5977	0	2.8494
10	1.9847	10	6.1778	10	2.6565
15	1.4882	15	5.6947	15	2.4322
20	1.1145	20	5.1481	20	2.1789
ANGULO DE ROZAMIENTO 27º					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.7603		DEFORMACION FS = 4.8182	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	10.6633	0	13.9116	0	6.732
10	6.8371	10	13.2633	10	6.4102
15	5.0917	15	12.4888	15	6.0246
20	3.8600	20	10.8220	20	5.1916
ANGULO DE ROZAMIENTO 36º					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.6406		DESPLAZAMIENTO FS = 12.6847		DEFORMACION FS = 6.9766	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	18.7057	0	20.3416	0	10.3236
10	11.6490	10	19.0538	10	9.6594
15	8.6257	15	17.6156	15	8.9170
20	6.6289	20	15.9733	20	8.0685

FI - ESTADO LIMITE 1 : RADIO DE PLASTIFICACION

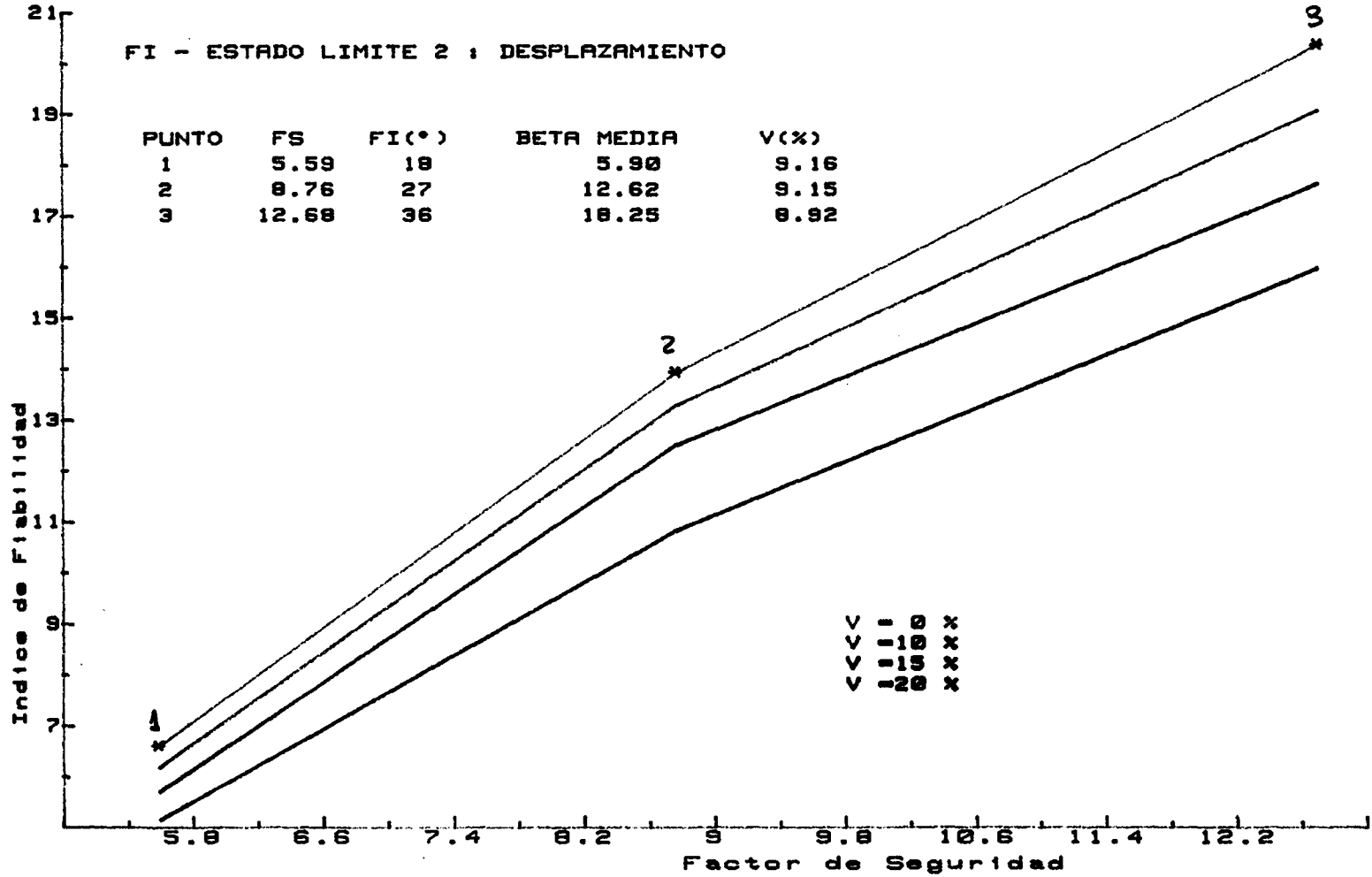
PUNTO	FS	FI(°)	BETA MEDIA	V(%)
1	1.18	18	1.86	35.19
2	1.45	27	6.61	38.81
3	1.64	36	11.40	40.16

V = 0 %  
 V = 10 %  
 V = 15 %  
 V = 20 %



FI - ESTADO LIMITE 2 : DESPLAZAMIENTO

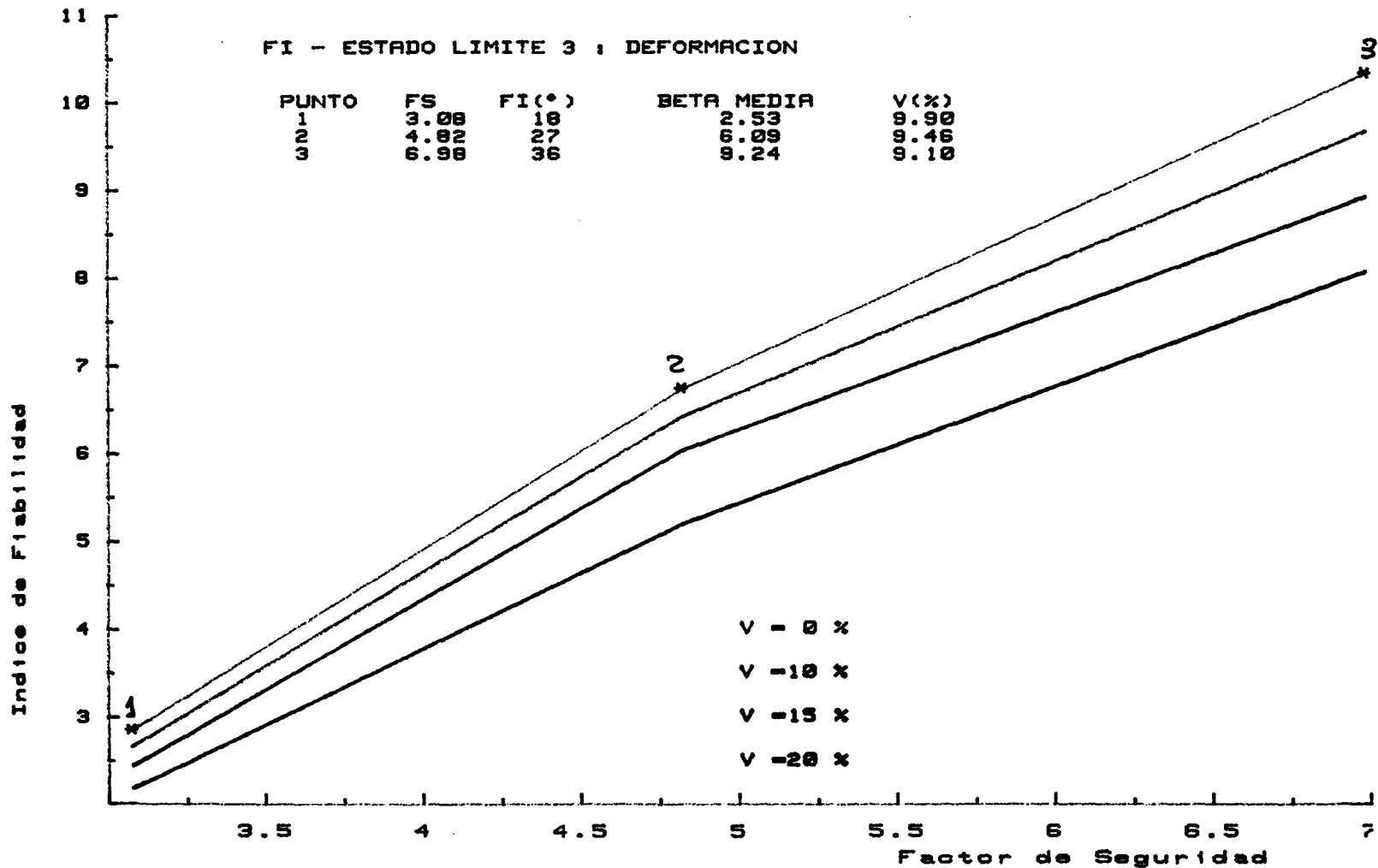
PUNTO	FS	FI(*)	BETA MEDIA	V(%)
1	5.59	18	5.90	9.16
2	8.76	27	12.62	9.15
3	12.68	36	18.25	8.92





FI - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION

PUNTO	FS	FI(*)	BETA MEDIA	V(%)
1	3.08	18	2.53	9.90
2	4.82	27	6.09	9.46
3	6.98	36	9.24	9.10



# CONVERGENCIA INICIAL

CONVERGENCIA INICIAL (cm)  
.1

RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.6207		DESPLAZAMIENTO FS = 5.4628		DEFORMACION FS = 3.0045	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	5.1748	0	8.2947	0	3.5943
10	5.1723	10	8.2924	10	3.5932
15	5.1694	15	8.2898	15	3.5919
20	5.1654	20	8.2858	20	3.5900

CONVERGENCIA INICIAL (cm)  
.5

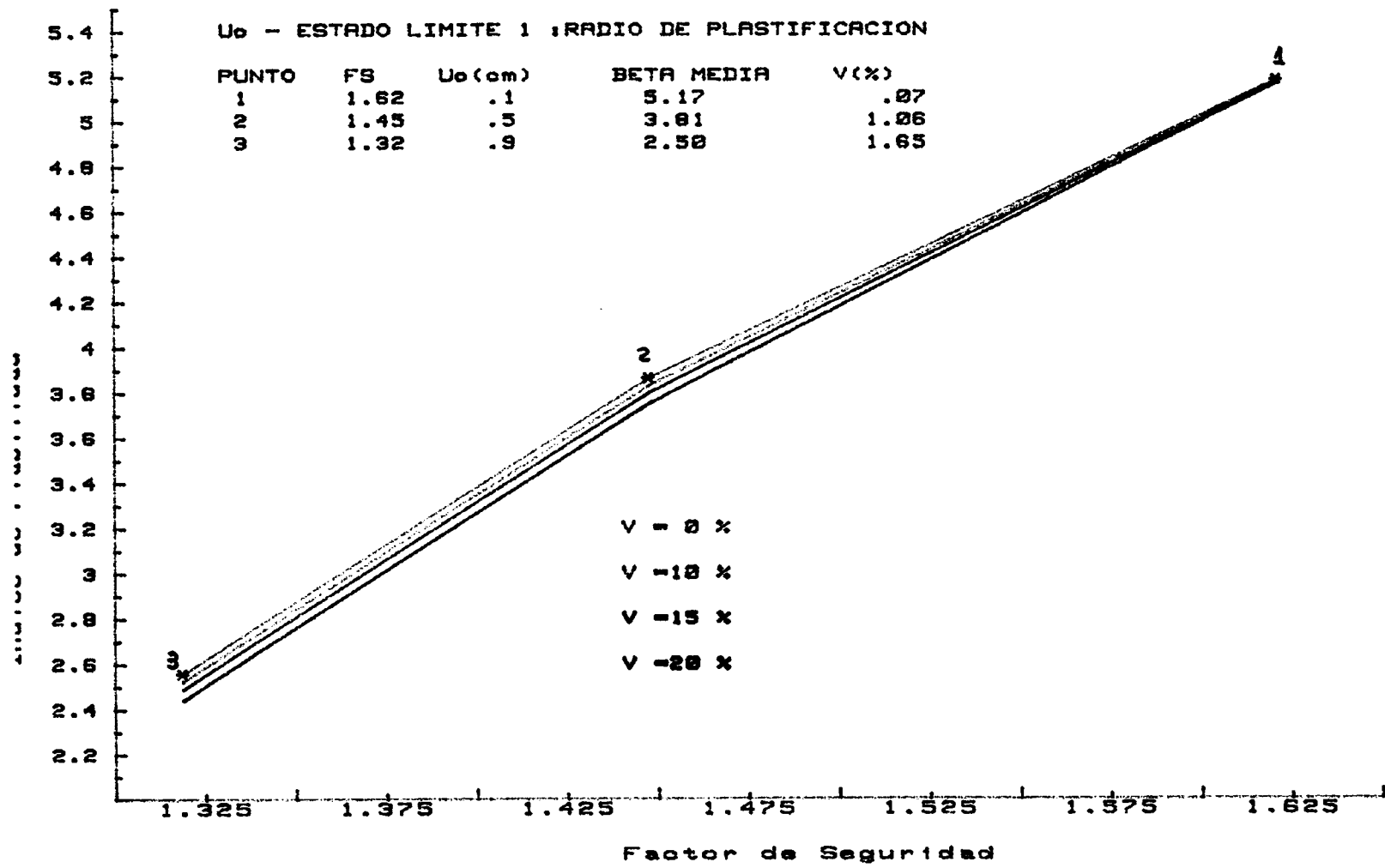
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.7603		DEFORMACION FS = 4.8182	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.8600	0	10.820	0	5.190
10	3.8300	10	10.780	10	5.170
15	3.7980	15	10.737	15	5.147
20	3.7510	20	10.672	20	5.114

CONVERGENCIA INICIAL (cm)  
.9

RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.3188		DESPLAZAMIENTO FS = 12.368		DEFORMACION FS = 6.802	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.5546	0	13.6136	0	6.8413
10	2.5258	10	13.5270	10	6.7954
15	2.4904	15	13.4040	15	6.7302
20	2.4437	20	13.2313	20	6.6390

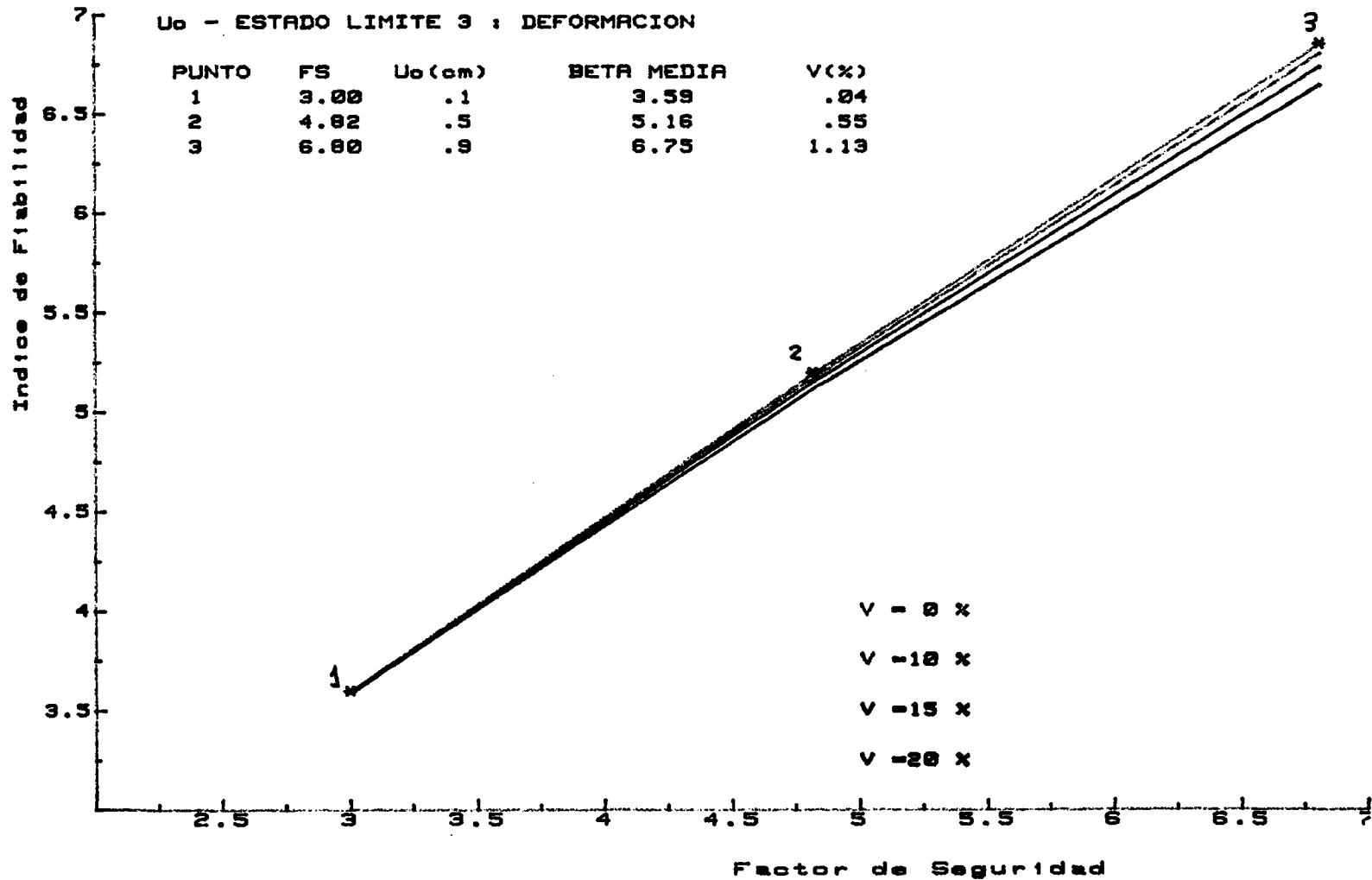
U<sub>0</sub> - ESTADO LIMITE 1 : RADIO DE PLASTIFICACION

PUNTO	FS	U <sub>0</sub> (cm)	BETA MEDIA	V(%)
1	1.62	.1	5.17	.07
2	1.45	.5	3.01	1.06
3	1.32	.9	2.50	1.65



U<sub>0</sub> - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION

PUNTO	FS	U <sub>0</sub> (cm)	BETA MEDIA	V (%)
1	3.00	.1	3.59	.04
2	4.82	.5	5.16	.55
3	6.80	.9	6.75	1.13

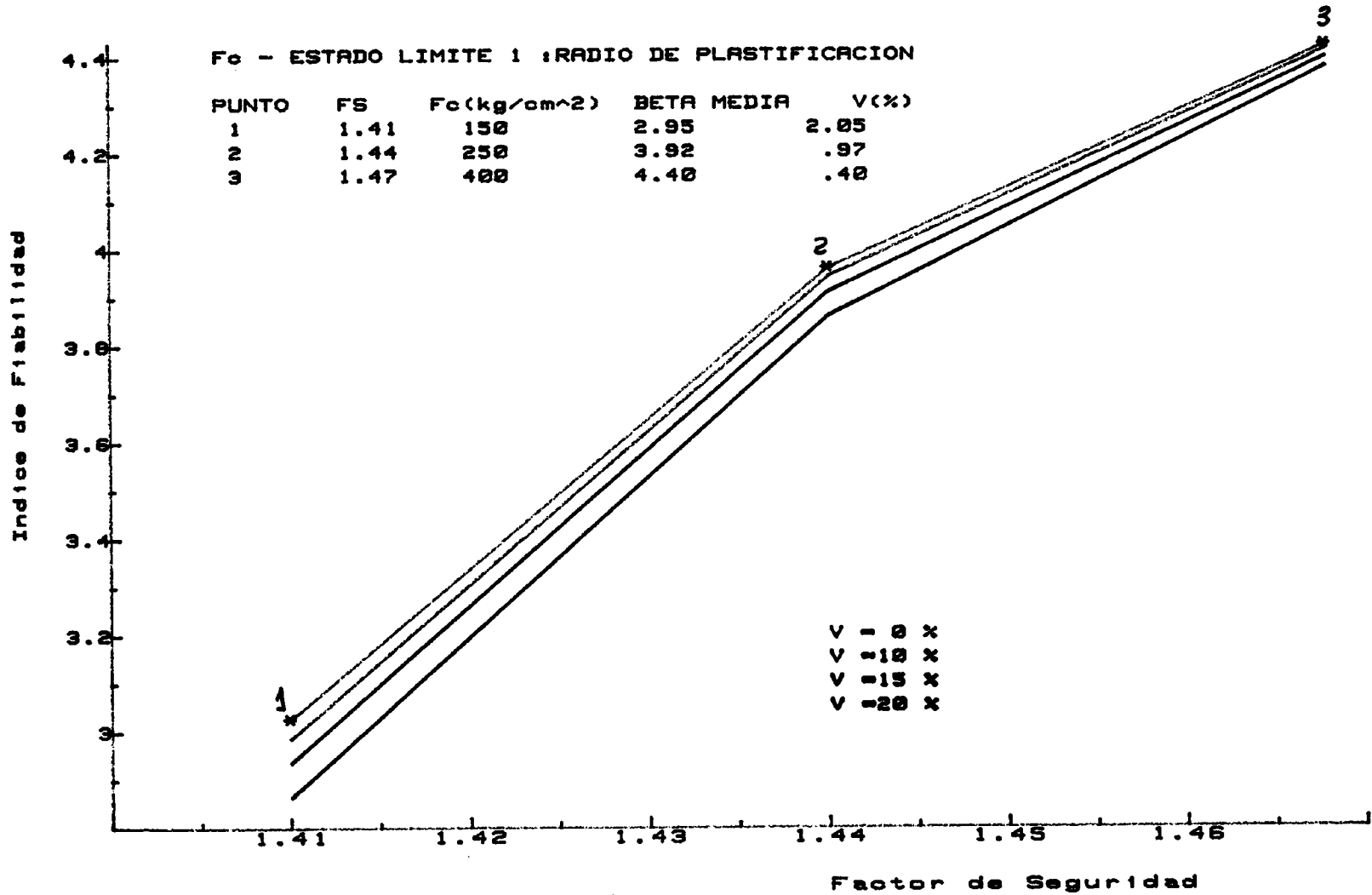


**RESISTENCIA  
DEL  
HORMIGON**

RESISTENCIA CARACTERISTICA DEL HORMIGON (kg/cm <sup>2</sup> ) 150					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.41		DESPLAZAMIENTO FS = 6.367		DEFORMACION FS = 3.5	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.025	0	5.79	0	2.555
10	2.985	10	5.57	10	2.450
15	2.935	15	5.32	15	2.330
20	2.863	20	5.00	20	2.180
RESISTENCIA CARACTERISTICA DEL HORMIGON (kg/cm <sup>2</sup> ) 250					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.44		DESPLAZAMIENTO FS = 8.76		DEFORMACION FS = 4.82	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	3.960	0	12.200	0	5.880
10	3.942	10	11.887	10	5.730
15	3.910	15	11.400	15	5.487
20	3.860	20	10.820	20	5.190
RESISTENCIA CARACTERISTICA DEL HORMIGON (kg/cm <sup>2</sup> ) 400					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4677		DESPLAZAMIENTO FS = 10.587		DEFORMACION FS = 5.82	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	4.420	0	17.870	0	8.90
10	4.410	10	17.610	10	8.77
15	4.394	15	17.274	15	8.60
20	4.374	20	16.820	20	8.37

Fe - ESTADO LIMITE 1 :RADIO DE PLASTIFICACION

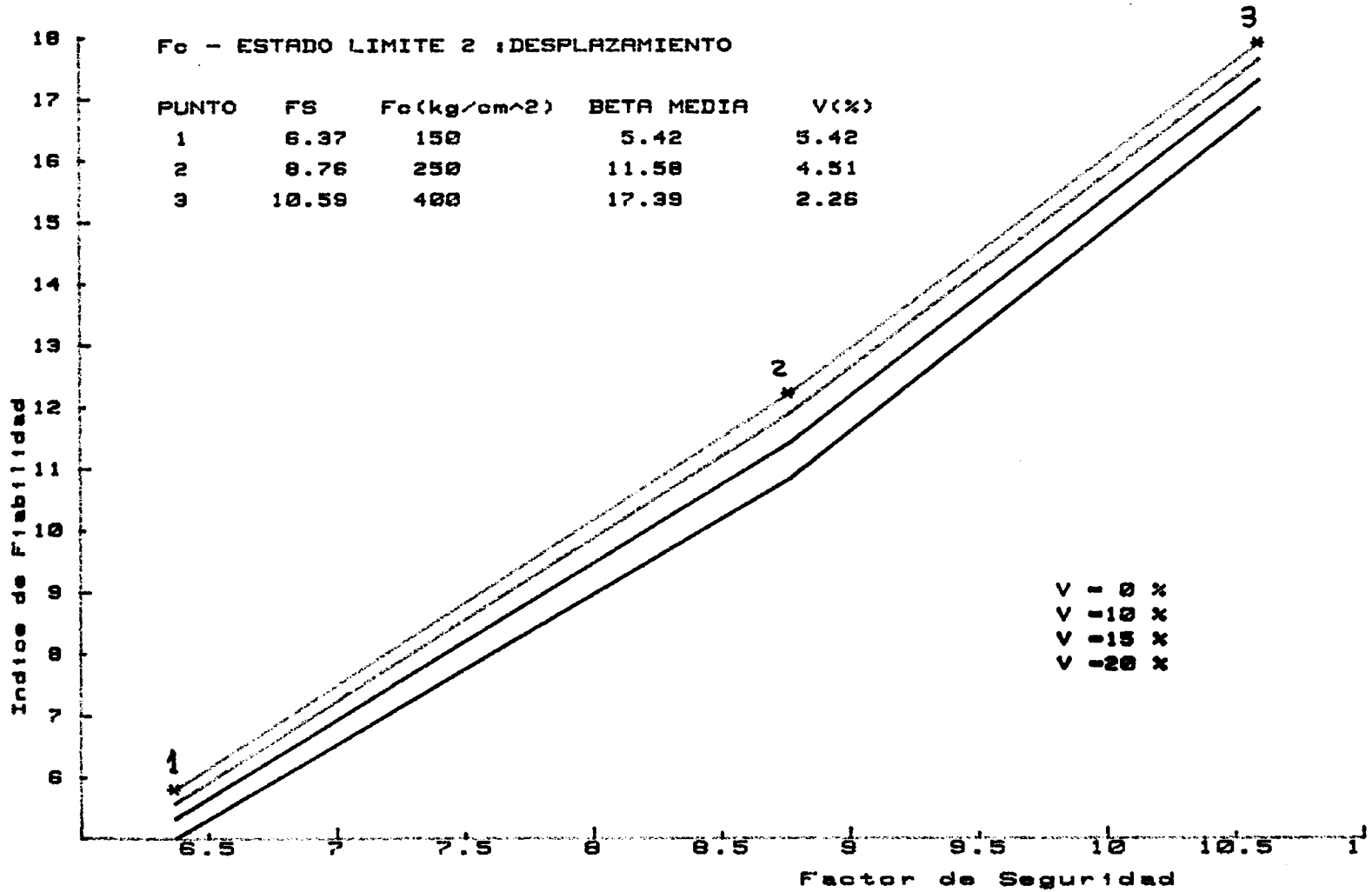
PUNTO	FS	Fc(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	1.41	150	2.95	2.05
2	1.44	250	3.92	.97
3	1.47	400	4.40	.40





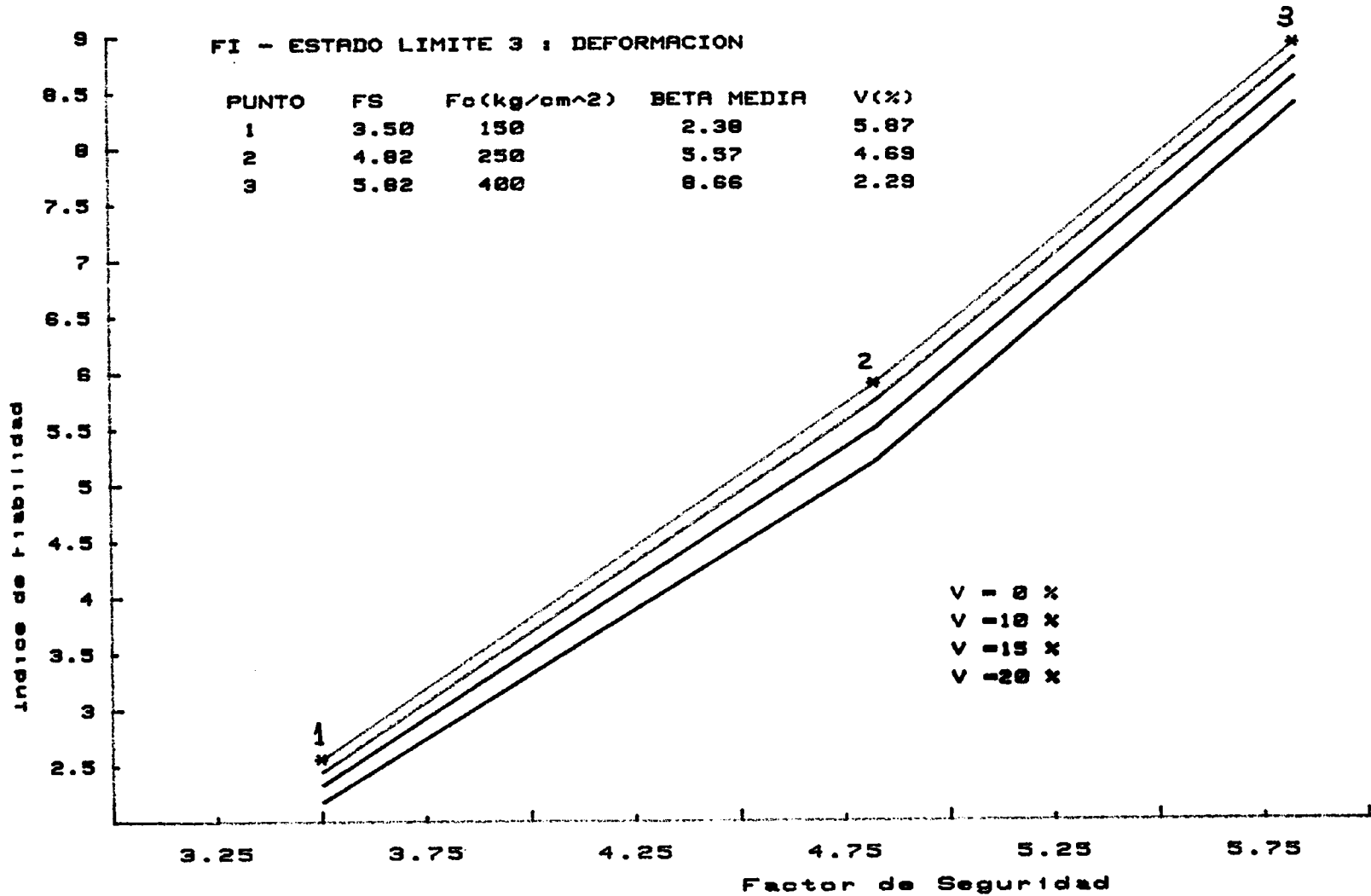
Fc - ESTADO LIMITE 2 : DESPLAZAMIENTO

PUNTO	FS	Fc(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	6.37	150	5.42	5.42
2	8.76	250	11.58	4.51
3	10.59	400	17.39	2.26



**FI - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION**

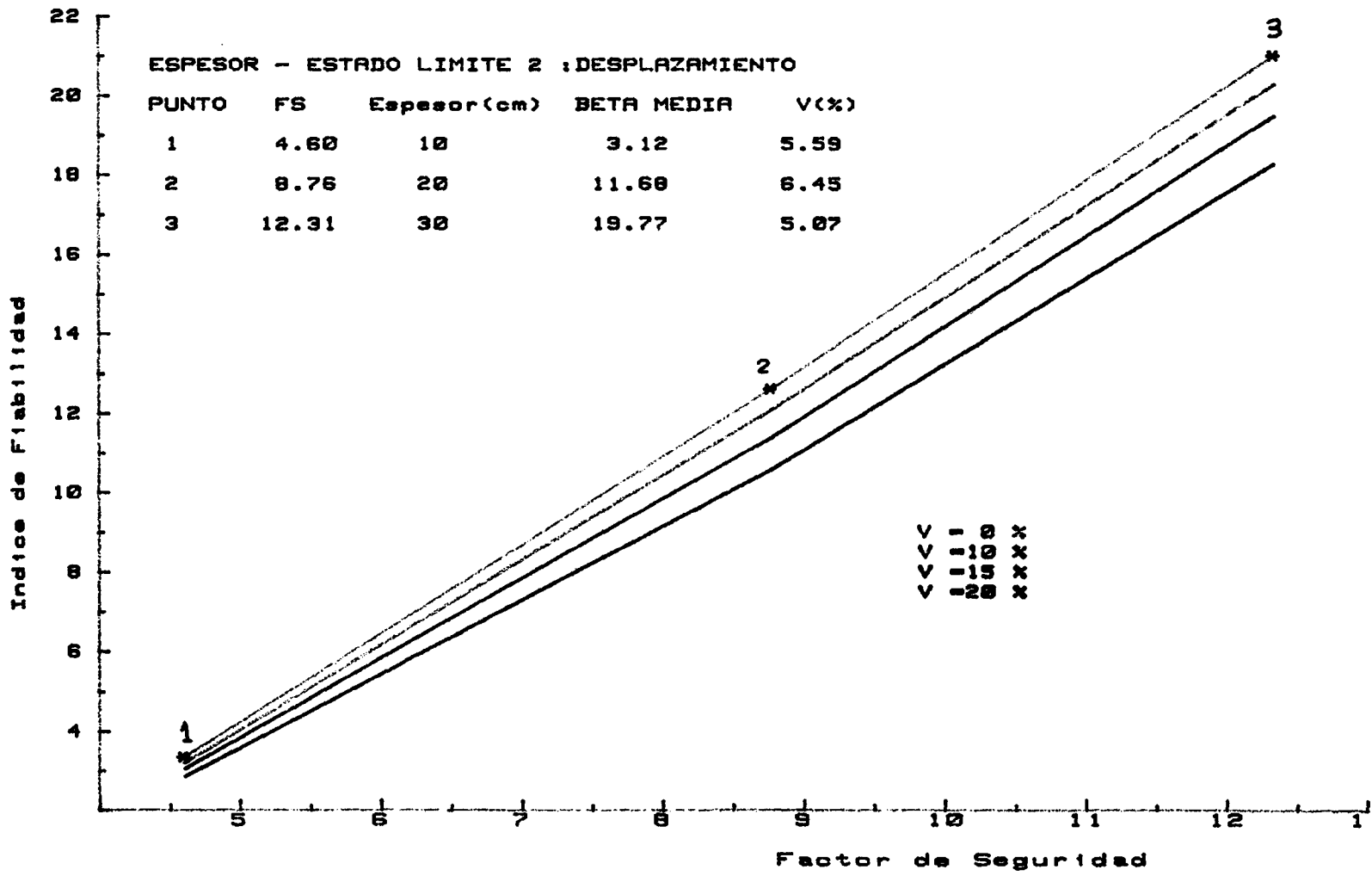
PUNTO	FS	Fo(kg/cm <sup>2</sup> )	BETA MEDIA	V(%)
1	3.50	150	2.30	5.87
2	4.82	250	5.57	4.69
3	5.82	400	8.66	2.29



**ESPEJOR**

ESPESOR DEL SOSTENIMIENTO (cm)					
10					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.361		DESPLAZAMIENTO FS = 4.5986		DEFORMACION FS = 2.529	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	2.2030	0	3.342	0	1.239
10	2.1696	10	3.216	10	1.184
15	2.1280	15	3.065	15	1.117
20	2.0710	20	2.874	20	1.030
ESPESOR DEL SOSTENIMIENTO (cm)					
20					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.4476		DESPLAZAMIENTO FS = 8.7603		DEFORMACION FS = 4.818	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	4.00	0	12.6	0	6.1
10	3.96	10	12.1	10	5.8
15	3.90	15	11.4	15	5.5
20	3.83	20	10.6	20	5.1
ESPESOR DEL SOSTENIMIENTO (cm)					
30					
RADIO DE PLASTIFICACION FS = 1.482		DESPLAZAMIENTO FS = 12.31		DEFORMACION FS = 6.77	
V %	BETA	V %	BETA	V %	BETA
0	4.65	0	21.0	0	10.70
10	4.63	10	20.3	10	10.30
15	4.60	15	19.5	15	9.84
20	4.55	20	18.3	20	9.23

E



ESPESOR - ESTADO LIMITE 3 : DEFORMACION

PUNTO	FS	Espeor (cm)	BETA MEDIA	V(%)
1	2.53	10	1.14	6.83
2	4.82	20	5.63	6.58
3	6.77	30	10.82	5.46

