

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS PARA EL PROYECTO DE TÚNELES DISTRIBUCIÓN DETERMINÍSTICA VS DISTRIBUCIÓN PROBABILÍSTICA

GIANFRANCO PERRI

Prof. de Diseño Geotécnico de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

INTRODUCCIÓN

Las metodologías clásicas que se utilizan para elaborar los proyectos de túneles, parten de la sectorización del túnel en tramos o sectores geomecánicamente y macroscópicamente homogéneos, para los cuales luego se procede a determinar o inferir las propiedades geotécnicas del macizo rocoso, con lo cual finalmente se diseña el método de excavación y el soporte necesario para garantizar la estabilidad del túnel.

Para tal fin generalmente se hace recurso al uso de clasificaciones del macizo rocoso propuestas por diferentes autores quienes de una forma más o menos empírica (o sea basada sobre experiencias previas) sugieren asignar, en base a ciertas propiedades o índices del macizo a excavar y para cada caso o tramo macroscópicamente homogéneo, un índice global (RMR, RSR, Q, etc.) de calidad con lo cual se clasifica la excavación. Resulta una subdivisión en tramos consecutivos de todo el alineamiento previsto entre los portales del túnel: cada tramo caracterizado por un valor del índice global y luego por una determinada clase de excavación.

Es evidente que el nivel de precisión con el cual se puede obtener la discretización del alineamiento en clases es algo solo aproximado, limitado y controlado por la complejidad de la geología del túnel, el grado de detalle necesariamente limitado alcanzado en la exploración y los aspectos geométricos involucrados: longitud y cobertura del túnel.

Dentro de este orden de ideas se propone no proceder como es tradicional en elaborar una discretización determinística de todo el alineamiento en clases de excavación, sino hacer referencia al concepto de probabilidad en el sentido de estimar, para cada tramo de longitud limitada de túnel, la probabilidad de que el macizo rocoso pertenezca a una clase de excavación u a otra, dentro de los rangos posibles indicados por el contexto geológico-geomecánico en referencia. En otras palabras para cada progresiva de túnel se pretende contestar la pregunta: ¿Qué probabilidad hay que el macizo rocoso pertenezca a una clase u a otra clase de excavación?; en lugar de la tradicional pregunta ¿A que clase de excavación pertenece el macizo rocoso en un determinado tramo?.

El resultado final es nuevamente una discretización del túnel en clases de excavación distribuidas a lo largo del alineamiento, pero esta vez algo probablemente más realista y, en términos globales, más próxima a la posible realidad ya que tal discretización resulta menos ligada a la necesariamente escasa precisión a la que con frecuencia induce la aplicación de la metodología clásica que implica asignar una determinada clase a cada tramo predefinido y cuya longitud o extensión a su vez está obligada por la aparente macrohomogeneidad geológico-geotécnica del macizo rocoso a excavar: en otras palabras con la metodología clásica determinista, hasta tanto no exista alguna evidencia de diferenciación, no se poseen elementos objetivos para una subdivisión más fina la cual, por lo tanto, no puede llevarse racionalmente a cabo. Esta limitación del procedimiento tradicional se hace tanto más acentuada cuanto más largo es el túnel.

Por otro lado la metodología probabilística propuesta está evidentemente basada en buena proporción en la subjetividad (experiencia y sensibilidad de percepción de la situación geotécnica) de quien o quienes la elabora(n); pero tal influencia es inevitable a nivel del proyecto de un túnel, y no constituye necesariamente un elemento limitante del procedimiento.

ANÁLISIS PROBABILÍSTICO

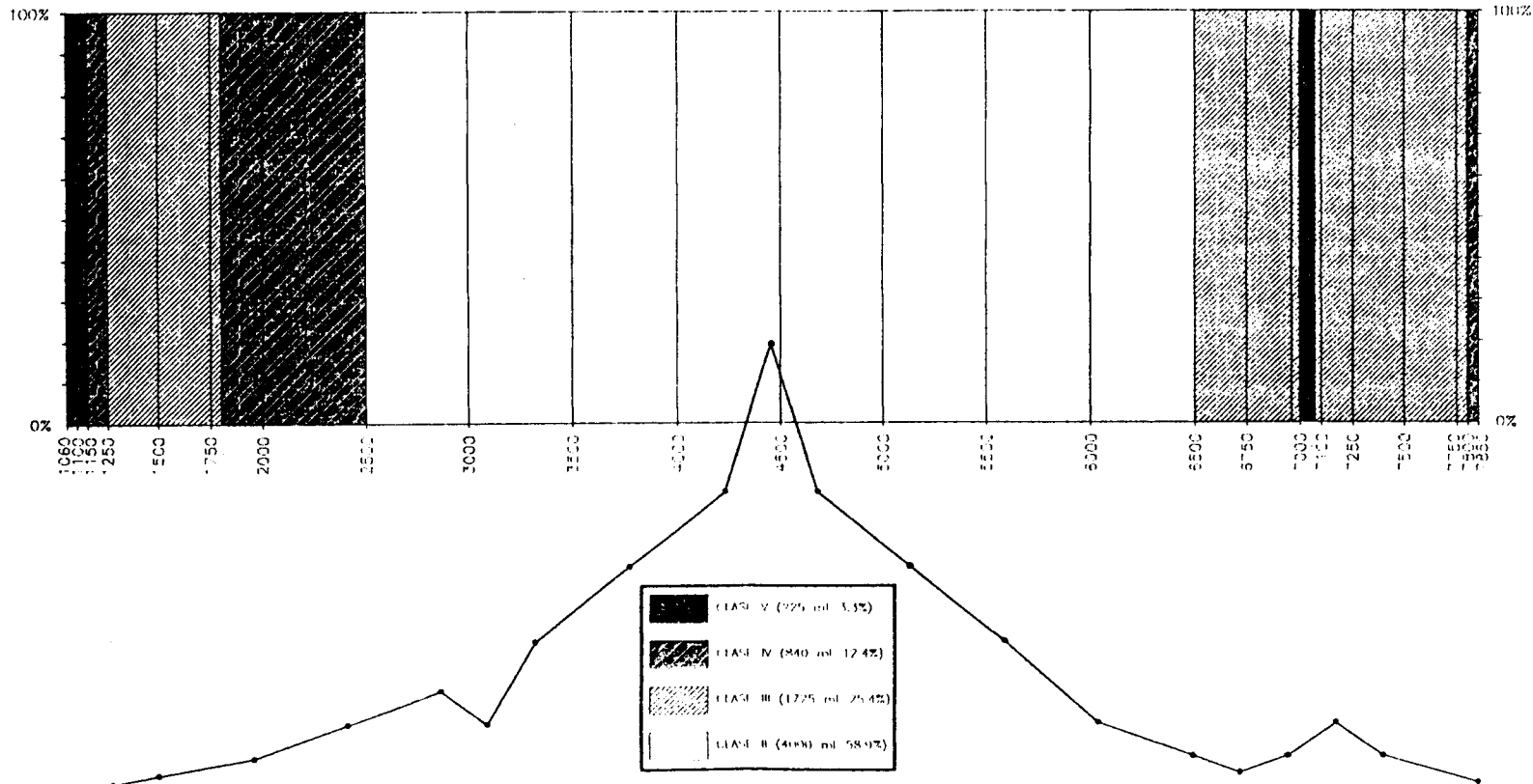
La lámina N°1 anexa presenta en forma gráfica y numérica la distribución determinística de las clases de excavación del túnel Tazón, así como resultó de los análisis llevados a cabo en la etapa de ingeniería básica para el Ferrocarril Caracas-Cúa

Se obtuvo la siguiente distribución global:

Clases de Bieniawski:	V	IV	III	II
Longitudes totales (m):	225	840	1725	4000
Distribuciones porcentuales (%):	3.3	12.4	25.4	58.9

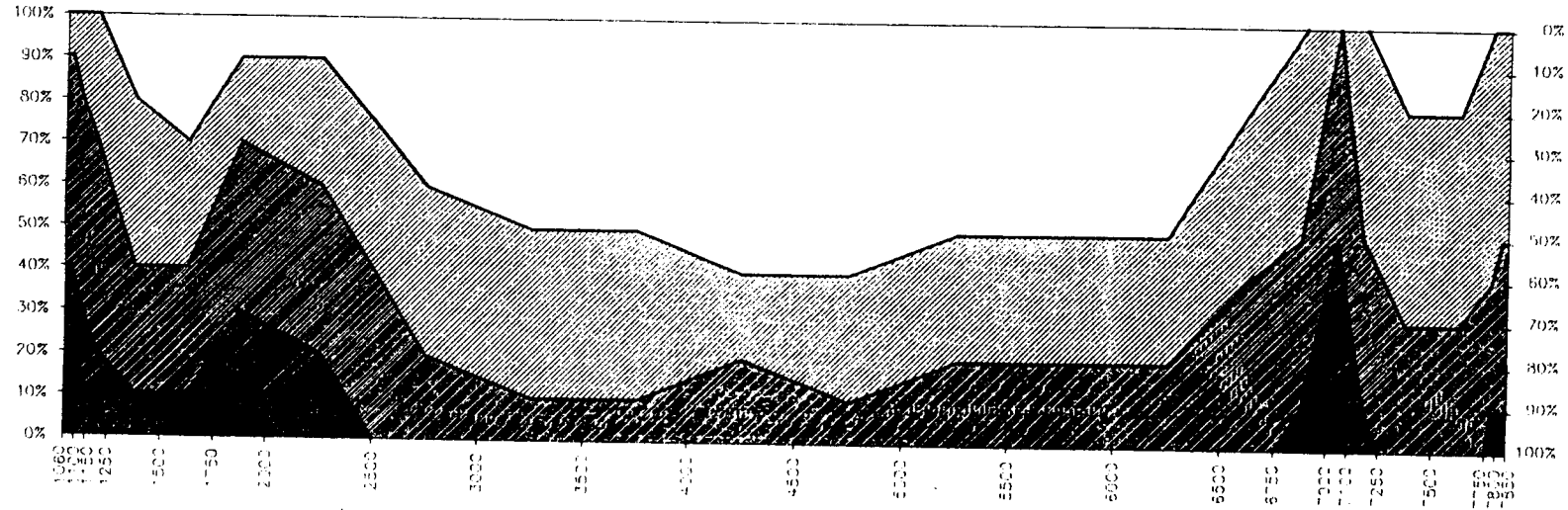
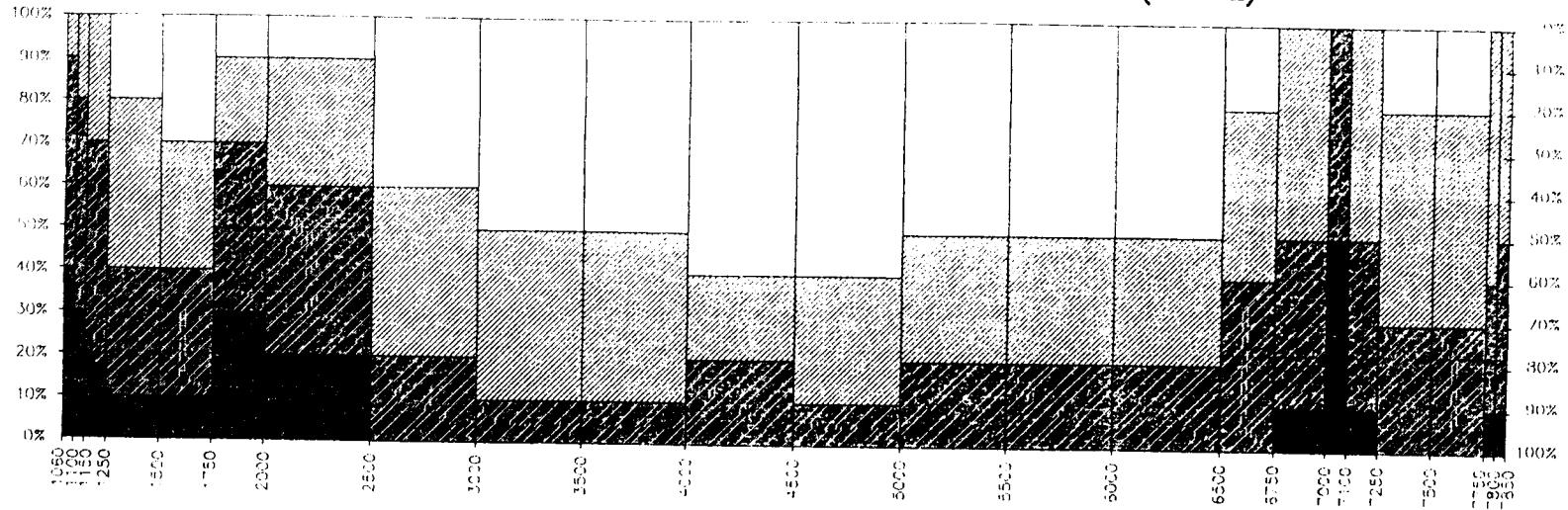
La lámina N°2 anexa en cambio, presenta en forma gráfica la distribución probabilística de las clases de excavación del túnel Tazón, según se obtuvo de la elaboración estadística de dos macroparámetros parciales (P1 y P2) cuyas distribuciones probabilísticas específicas se presentan en la Lámina N°3 anexa, para los 23 sectores o tramos de túnel utilizados tomando en

DISTRIBUCION DETERMINISTICA DE LA CLASE DE EXCAVACION

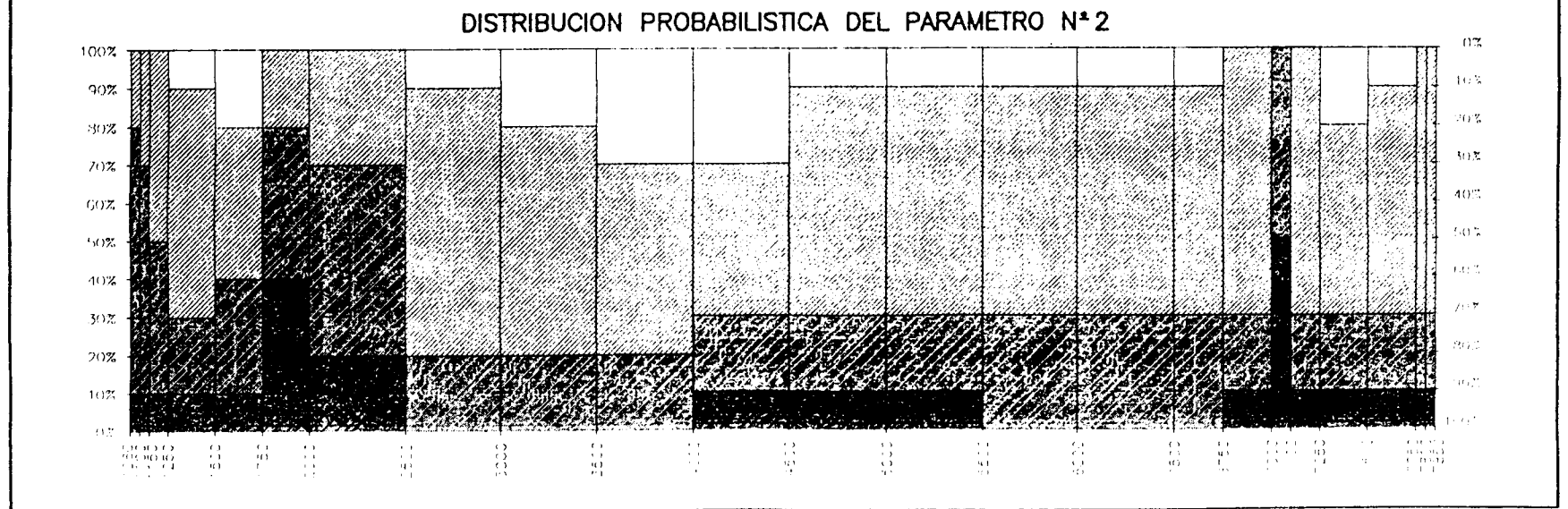
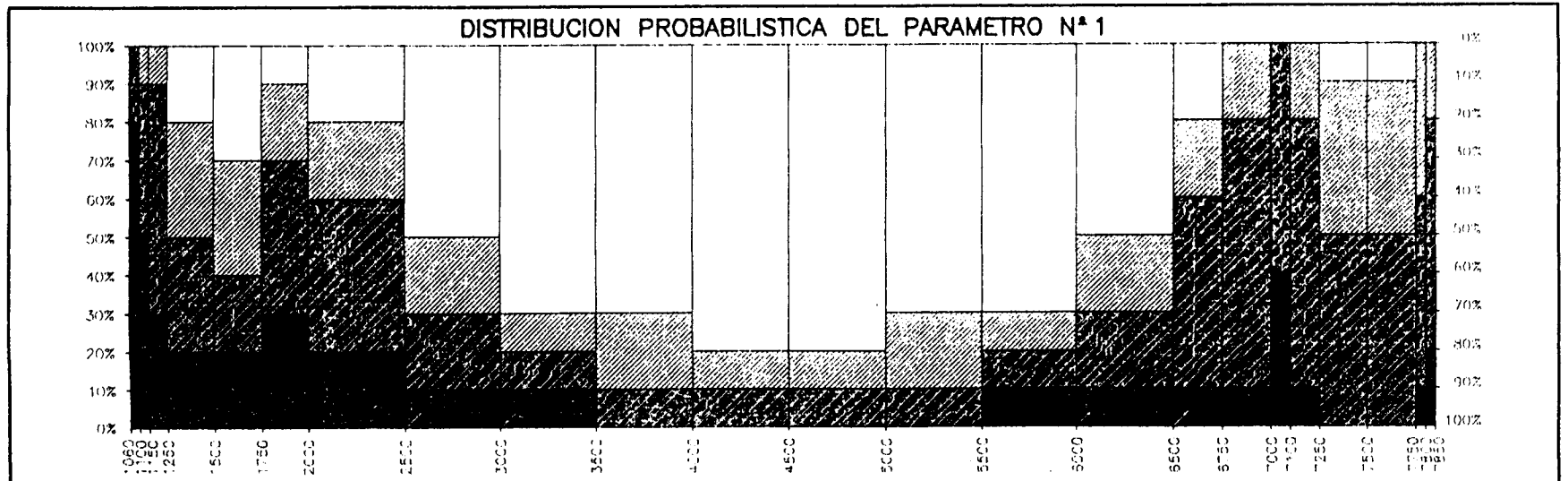


PROGRESIVA	1060-1160	1160-1250	1250-1400	1400-1800	1800-2200	2200-2500	2500-3500	3500-4500	4500-5000	5000-6000	6000-6500	6500-6700	6700-6950	6950-7025	7025-7800	7800-7850
COBERTURA (m)	5-10-25	25-50	50-100	100-150	150-100-150	150-200	200-400	400-600-400	400-500	500-200	200-100	100-50	50-25-50	50-25-50	50-100-50	50-25
LONGITUD (m)	100	80	120	400	400	300	1000	2000	500	500	200	250	125	125	50	
ITERACION	6	5	3-4	3-4	5	4-5	2-3	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	5-6	3-4	5	
ROD (X)	0-10	20-50	50-75	50-75	20-50	25-50	25-90	25-90	25-90	25-90	50-75	50-75	10-25	50-75	20-50	
Co (Kg/cm ²)	1-10	100-150	100-400	100-400	100-200	100-200	200-400	400-600	200-400	200-400	100-400	100-400	100-150	100-400	100-150	
E (Kg/cm ²)	3500	7000	40000	40000	10000	20000	100000	150000	100000	100000	40000	40000	2000	40000	2000	
PIK NAWSKI	V (12)	IV (9)	III (50)	III (50)	IV (10)	IV (40)	II (70)	II (75)	II (75)	II (70)	III (50)	III (50)	V (20)	III (50)	IV (30)	

DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE LA CLASE DE EXCAVACION (P1+P2)



7/11/11



cuenta la ubicación de situaciones geológico-geotécnicas y geométricas determinantes y estableciendo en 500 m la longitud máxima de cada tramo.

Los macroparámetros P1 y P2, se relacionan respectivamente con las características litológicas, de resistencia y de condición física de las rocas en el primer caso (P1), y con las condiciones geoestructurales de fracturación y plegamiento, en el segundo caso (P2).

Finalmente la Lámina N°4 anexa presenta la misma distribución probabilística de la Lámina N°2, pero en forma linearizada a lo largo de las progresivas del túnel para su más directa utilización a los fines de predicción de la más probable distribución porcentual global; lo que resultó de la siguiente manera:

Clases de Bieniawski:	V	IV	III	II
Longitudes totales (m):	376	1690	2314	2410
Distribuciones porcentuales (%):	5.5	24.9	34.1	35.5

El cuadro anexo resume las propiedades cualitativas y cuantitativas relativas a los macroparámetros P1 y P2 citados y también las de un tercer parámetro P3 relativo a las convergencias a esperar en el techo del túnel y coberturas en el mismo.

Este tercer parámetro se utiliza a complemento de la clasificación del macizo rocoso en clases de excavación, a objeto de prediseñar los tipos de sostenimientos primarios y revestimientos definitivos que se deben asociar a cada una de las clases de excavación determinadas con el procedimiento anteriormente ilustrado.

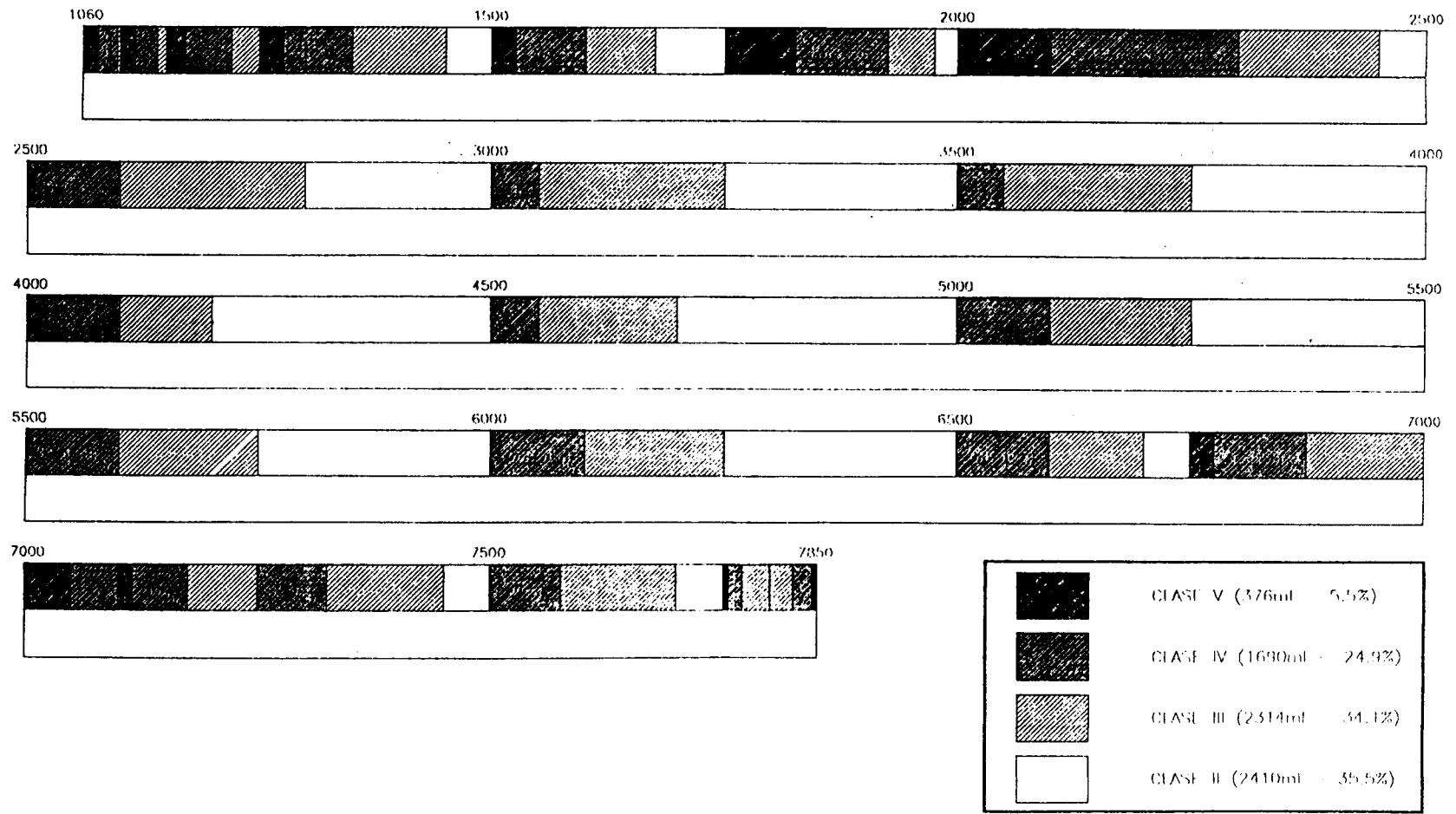
PARÁMETRO P1: Litología - Meteorización - Resistencia		
Clase II	Esquistos frescos, Mármoles, Metaconglomerados	20 - 60 MPa
Clase III	Filitas frescas y Rocas meteorizadas de la clase II	10 - 20 MPa
Clase IV	Esquistos muy meteorizados y filitas grafitosas	2.5 - 10 MPa
Clase V	Rocas muy meteorizadas y descompuestas	< 2.5 MPa

PARÁMETRO P2: Diaclasas - Pliegues - Fallas geológicas	
Clase II	Rocas poco fracturadas y poco plegadas
Clase III	Rocas fracturadas y plegadas
Clase IV	Rocas muy fracturadas y plegadas
Clase V	Rocas en sectores de fallas geológicas

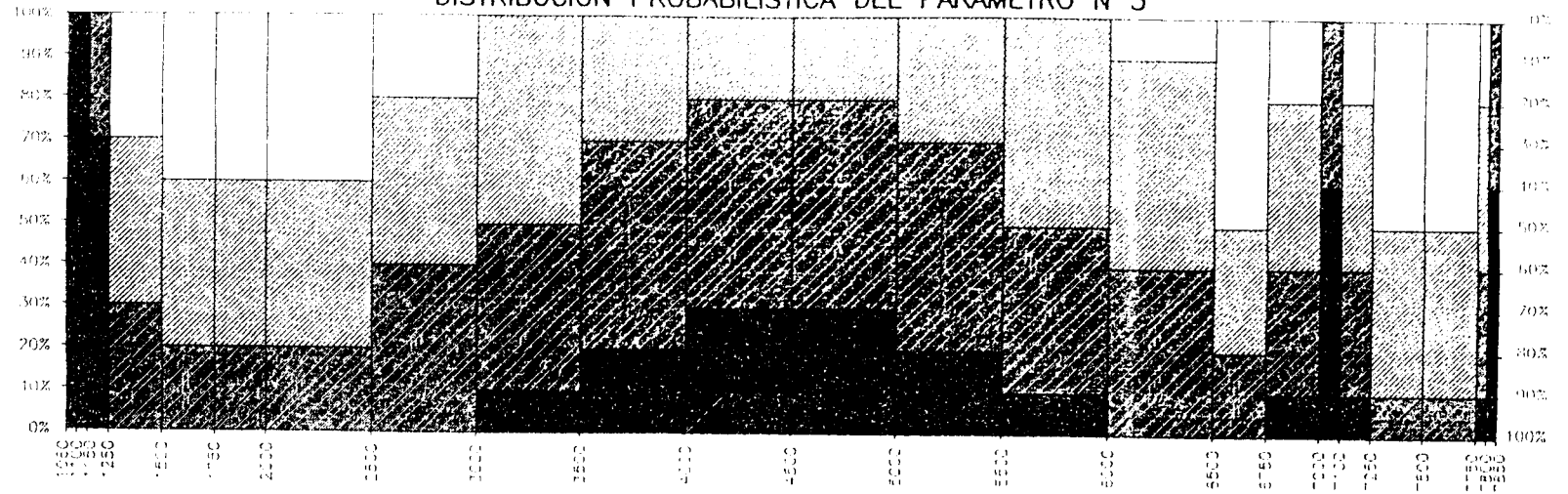
PARÁMETRO P3:	Convergencia (cm)		Cobertura (m)
Clase II	2 (D = 7 m)	4 (D = 11 m)	(50 - 200)
Clase III	3 (D = 7 m)	5 (D = 11 m)	(200 - 400)
Clase IV	6 (D = 7 m)	9 (D = 11 m)	(30-50) (400 - 500)
Clase V	10 (D = 7 m)	15 (D = 11 m)	(0-30) (500-600)

NOTA: Los valores indicados para la convergencia corresponden a presiones de confinamiento comprendidos entre 2 y 5 Kg/cm².

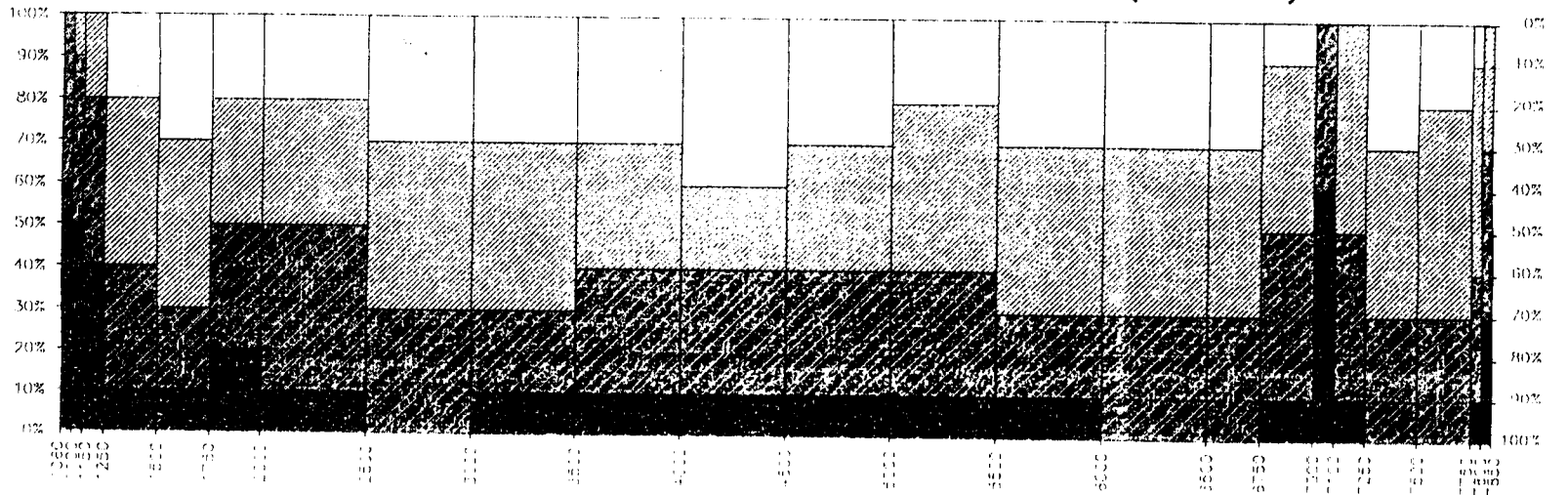
DISTRIBUCION PROBABILISTICA LINEARIZADA DE LA CLASE DE EXCAVACION (P1+P2)



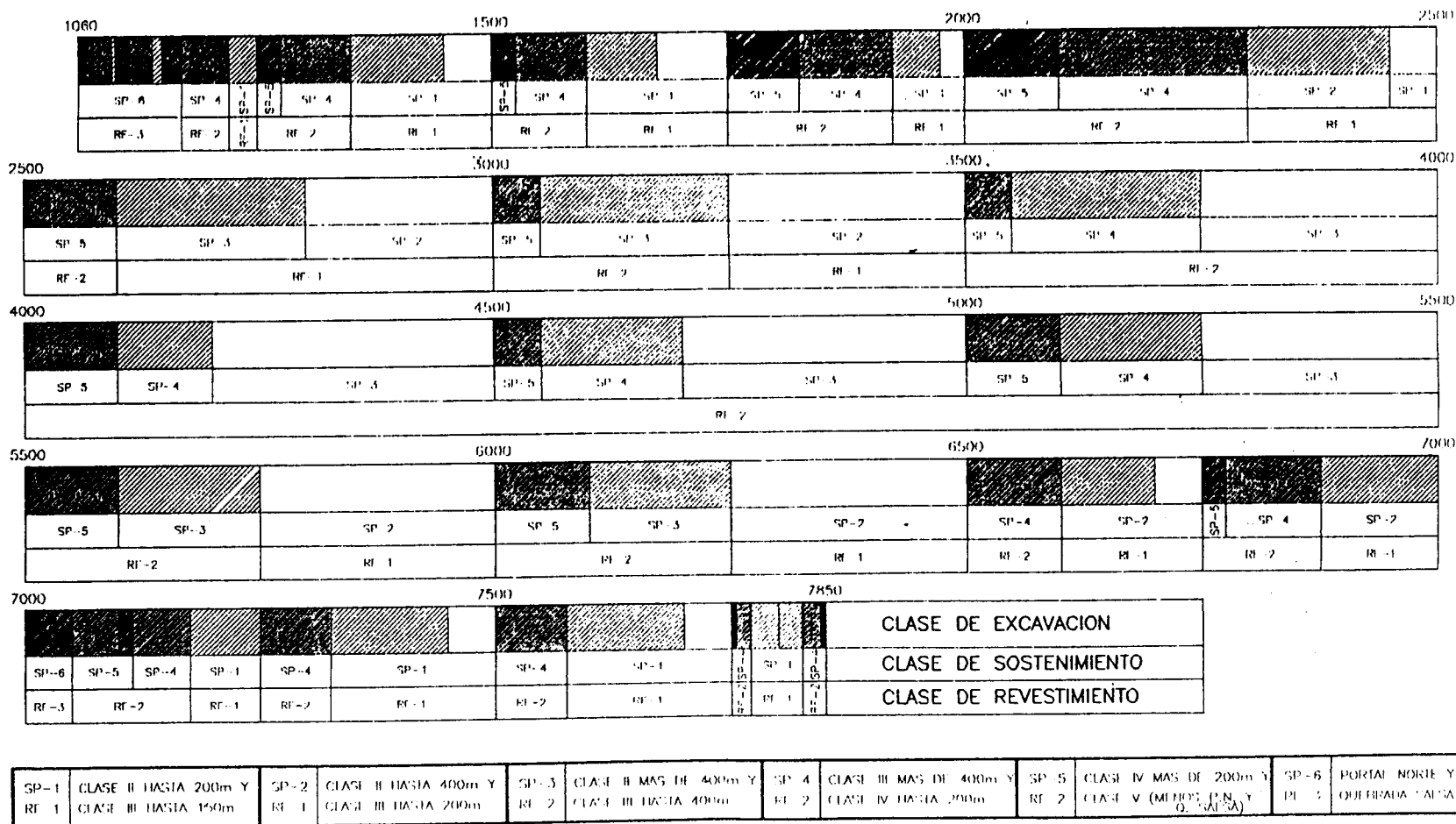
DISTRIBUCION PROBABILISTICA DEL PARAMETRO N° 3



DISTRIBUCION PROBABILISTICA DE LA CLASE DE EXCAVACION (P1+P2+P3)



DISTRIBUCION PROBABILISTICA LINEARIZADA DE LA CLASE DE EXCAVACION SOSTENIMIENTO Y REVESTIMIENTO



En efecto, el tipo y dimensiones de los soportes a utilizar en cada caso dependen además que de la clase de macizo rocoso a excavar, también de las presiones naturales preexistentes (cobertura) y de las deformaciones (convergencias) a su vez nuevamente ligadas a las coberturas además que a las propiedades mecánicas de deformación del macizo rocoso a excavar.

En la lámina N°5 anexa, se reporta la distribución probabilística del citado parámetro P3 a lo largo del alineamiento de túnel, y la distribución probabilística de la clase de excavación que resultaría de tomar en cuenta, además que los parámetros P1 y P2, también este tercer parámetro P3; resultando en términos generales un empeoramiento de la situación global en correspondencia de las progresivas centrales del túnel (entre las progresivas 3000 y 6000 en donde las coberturas son máximas: entre 300 y 600 m).

Finalmente la lámina N°6 anexa, completa el análisis probabilístico llevado a cabo, complementando la distribución probalística linearizada de las clases de excavación con la indicación del sostenimiento (SP) y revestimiento (RF) a emplear (ver plano anexo) para los diferentes tramos de túnel a lo largo del alineamiento previsto. Esto es el resultado de la acumulación de la información relativa a la clase de excavación (P1 y P2) con la información relativa a la problemática de convergencia-confinamiento (P3).

CONCLUSIONES

El análisis probabilístico llevado a cabo para el túnel Tazón, ha dado lugar a una distribución y proporción de las clases de excavación y de los soportes, distintas a las obtenidas en los análisis elaborados mediante el clásico análisis determinístico.

Tal nueva situación luce evidentemente algo más desfavorable que la anterior, lo cual se debe esencialmente a la eliminación para un largo tramo central del túnel (4000 metros lineales entre las progresivas 2500 y 6500), de la pertenencia a la Clase II. Aunque en este caso específico, debido al enorme peso de los 4000 metros lineales citados (más del 50% del total del túnel), el resultado del nuevo enfoque probabilístico haya resultado significativamente distinto y peor que el obtenido del original enfoque determinístico, tal situación no es generalizable ni cualitativamente ni cuantitativamente.

Lo que en cambio puede generalizarse es el hecho que el resultado del enfoque probabilístico ciertamente resulta más realista, en cuanto menos condicionado por

las situaciones circunstanciales ligadas al procedimiento seguido en la definición de los tramos geomecánicamente macrohomogéneos y luego a la asignación a cada uno de aquellos de la clase de excavación.

Es sin embargo importante señalar la persistencia del aún notable grado de imprecisión que acompaña los resultados del análisis llevado a cabo, no siendo posible prescindir del hecho de que se trata únicamente de una estima de la posible realidad a encontrar en la construcción del túnel, especialmente en lo que se refiere a los aspectos cuantitativos de la distribución y proporción con que las situaciones geomecánicas se sucederán en la realidad.

BIBLIOGRAFIA

"Decision Aids in Tunneling. Principle and Practical Application". By H.H. Einstein, J.P. Duddt, V.B. Halabe, F. Descoendres. Monograph in conjunction with the research project for the Swiss Federal Office of Transportation. November 1992.