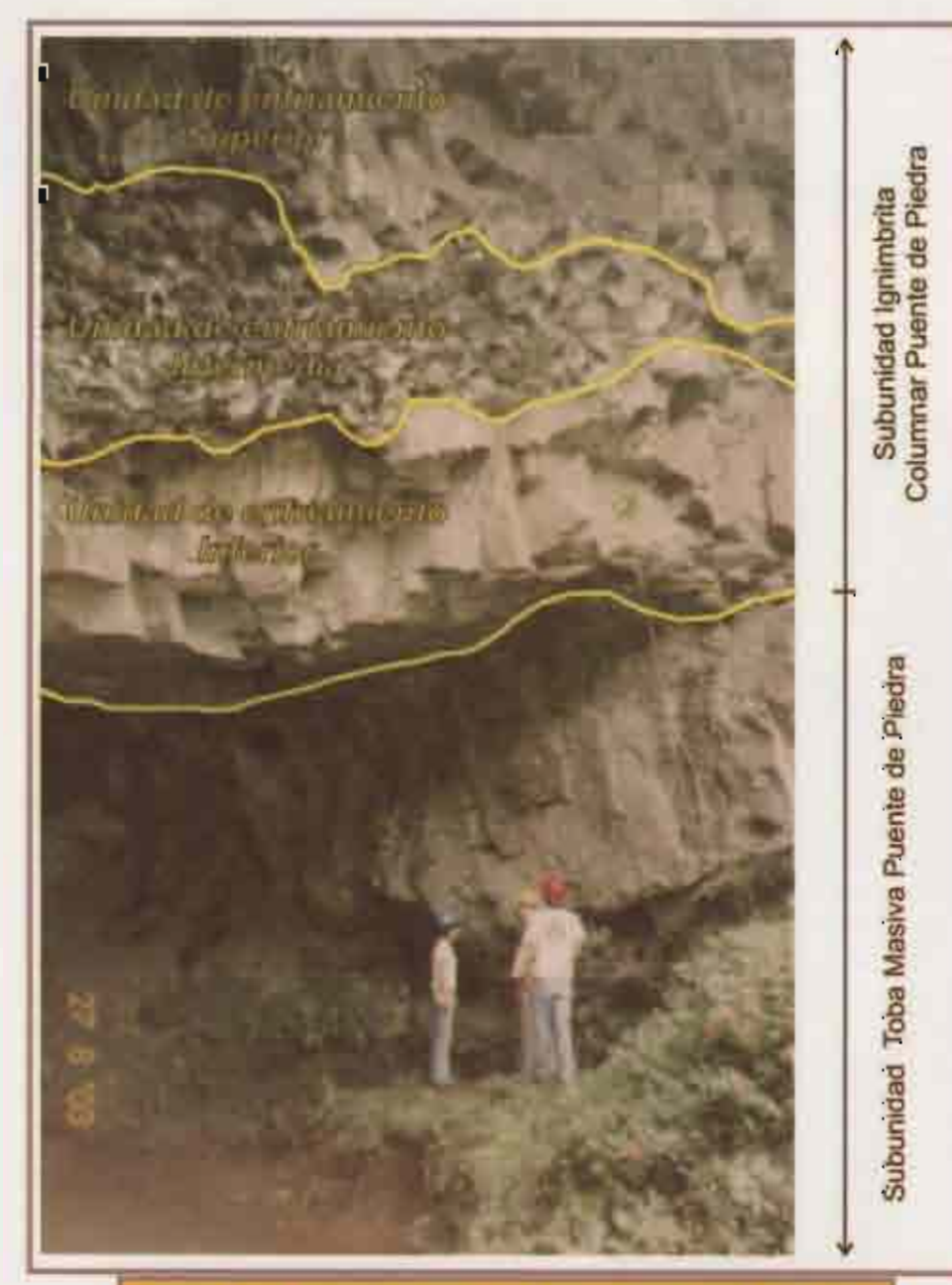
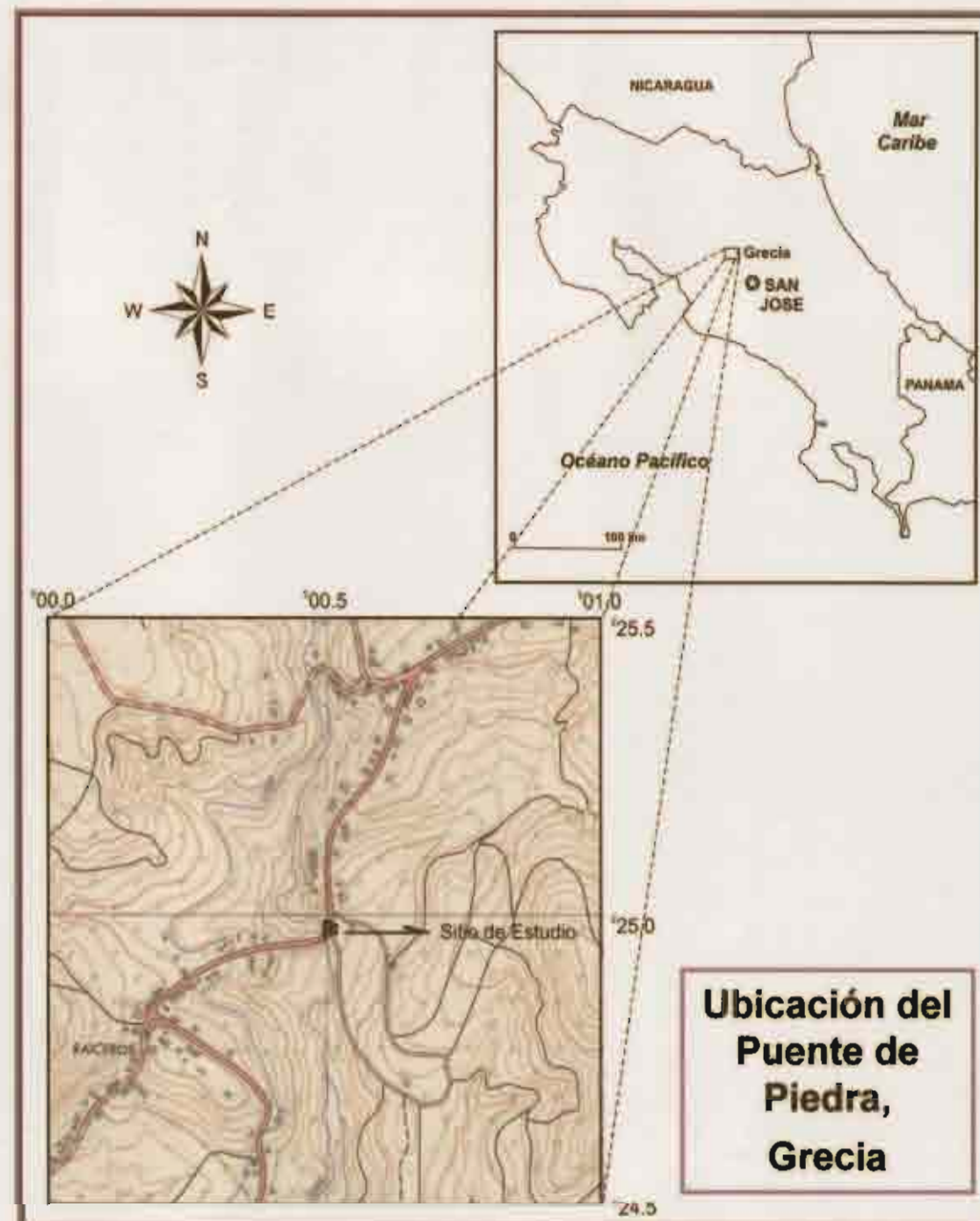


CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DEL PUENTE DE PIEDRA, GRECIA, ALAJUELA:
DE LA LEYENDA A LA REALIDAD GEOLÓGICA
 M.Sc. Rolando Mora, Geol. Jeisson Chaves, Geol. Maritza Alvarado,
 Geol. Douglas Camacho, Geol. Daniel Murillo, Geol. Manuel Barrantes y Geol. Pablo Herrera

G-4213 Mecánica de Rocas, II/2003
 Escuela Centroamericana de Geología
 Universidad de Costa Rica

RESUMEN

Este trabajo comprende la reproducción de la leyenda sobre la forma en que el Puente de Piedra fue construido. Por otro lado, se presenta la descripción geológica de los materiales que componen esta estructura natural y se reconstruye su historia geológica. Adicionalmente, se caracteriza el macizo rocoso desde una perspectiva geomecánica, se calcula la capacidad de soporte de la base del puente, se determina la resistencia del macizo rocoso fracturado y se establecen las necesidades de soporte.

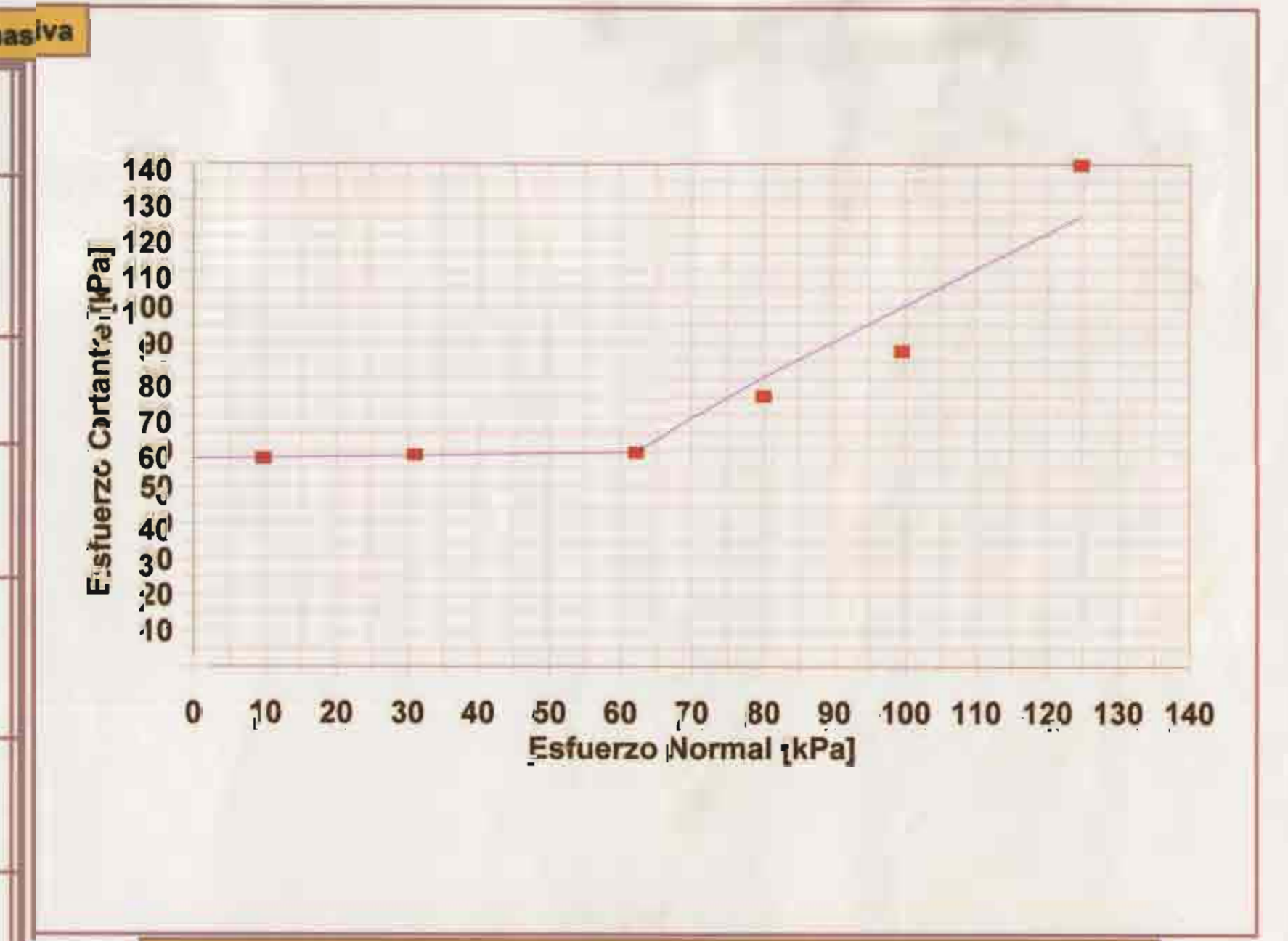


Propiedades físicas de la toba masiva

Propiedad	Resultado
Gravedad Específica	2.44
Contenido de humedad	45 %
Peso unitario húmedo	12.4 kN/m ³
Peso unitario seco	8.5 kN/m ³
Peso unitario saturado	14.8 kN/m ³
Peso unitario de los sólidos	23.9 kN/m ³
Relación de vacíos	1.81
Porosidad	64 %
Grado de saturación	61 %

Parámetros de resistencia de la toba masiva

Parámetro	Resultado
Resistencia a la compresión inconfiada	150-247 kPa
Cohesión no drenada	80-124 kPa
Cohesión efectiva para $\sigma_1 < 65$ kPa	58 kPa
Angulo de fricción efectivo para $\sigma_1 < 65$ kPa	2°
Cohesión efectiva para $\sigma_1 > 65$ kPa	0 kPa
Angulo de fricción efectivo para $\sigma_1 > 65$ kPa	45°



Descripción del macizo rocoso fracturado de acuerdo con los conteos lineales de detalle

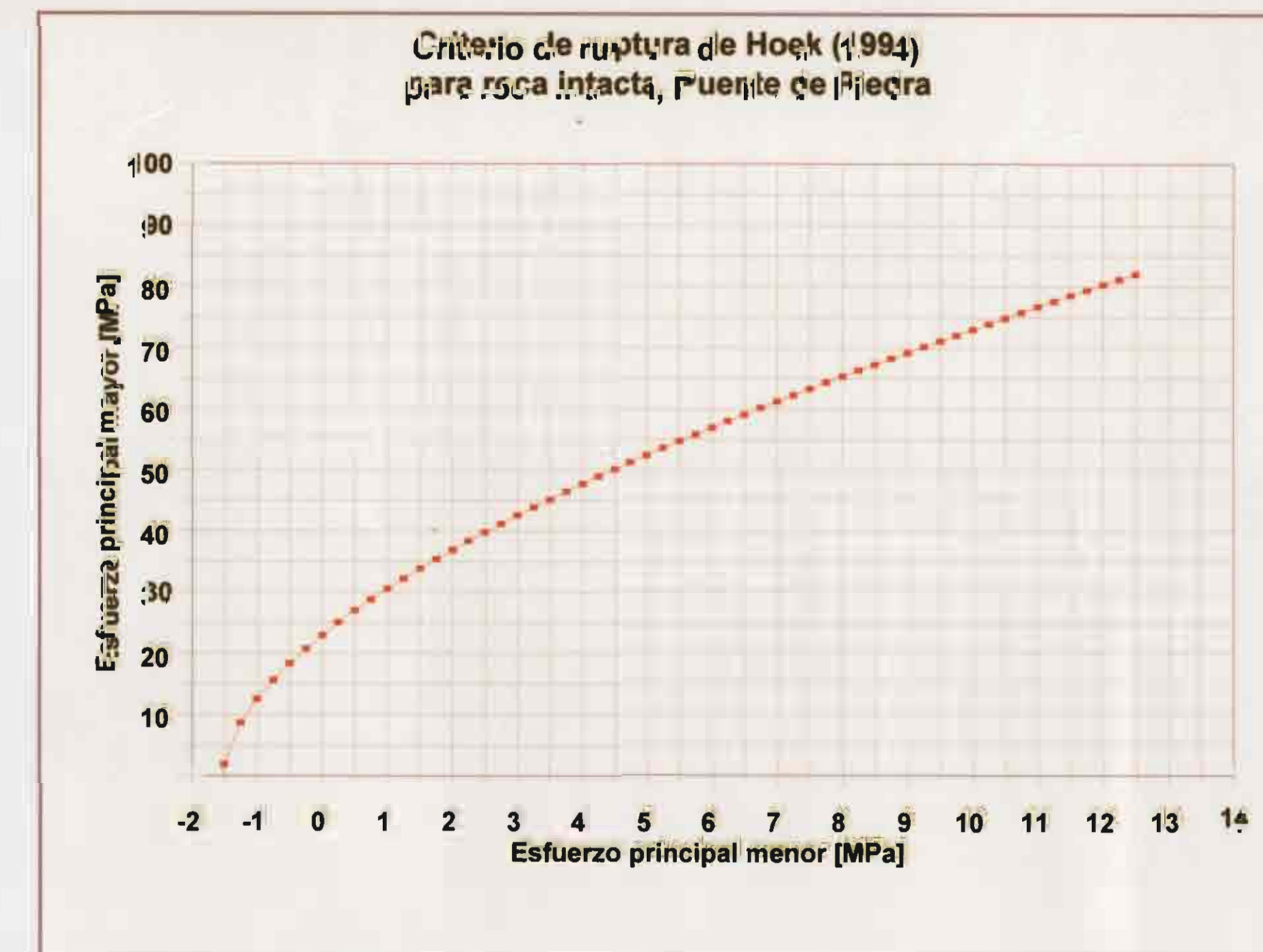
Descriptor	Característica
Continuidad	< 1 m
Rugosidad	Ondulada
Dureza de la pared	Dura
Humedad	Húmedo sin agua libre
Meteorización de la pared	Poco meteorizada
Apertura de las discontinuidades	1-3 mm
Relleno de las discontinuidades	Pátinas
Espesor del relleno	Ninguno

Parámetros del macizo rocoso fracturado considerando los intervalos de confiabilidad de los datos

Parámetro	Media	Desviación estándar	Límite superior	Límite inferior
c [MPa]	0.98	0.17	1.18	0.79
ϕ [°]	17.3	2.45	20.1	14.4
σ_1 [kPa]	-8.5	-5.8	-15.0	-2.0
σ_{cm} [MPa]	0.32	0.19	0.54	0.094
σ_{tm} [MPa]	2.1	0.48	2.6	1.5
E_m [MPa]	1980.5	833.4	2338.4	1022.6

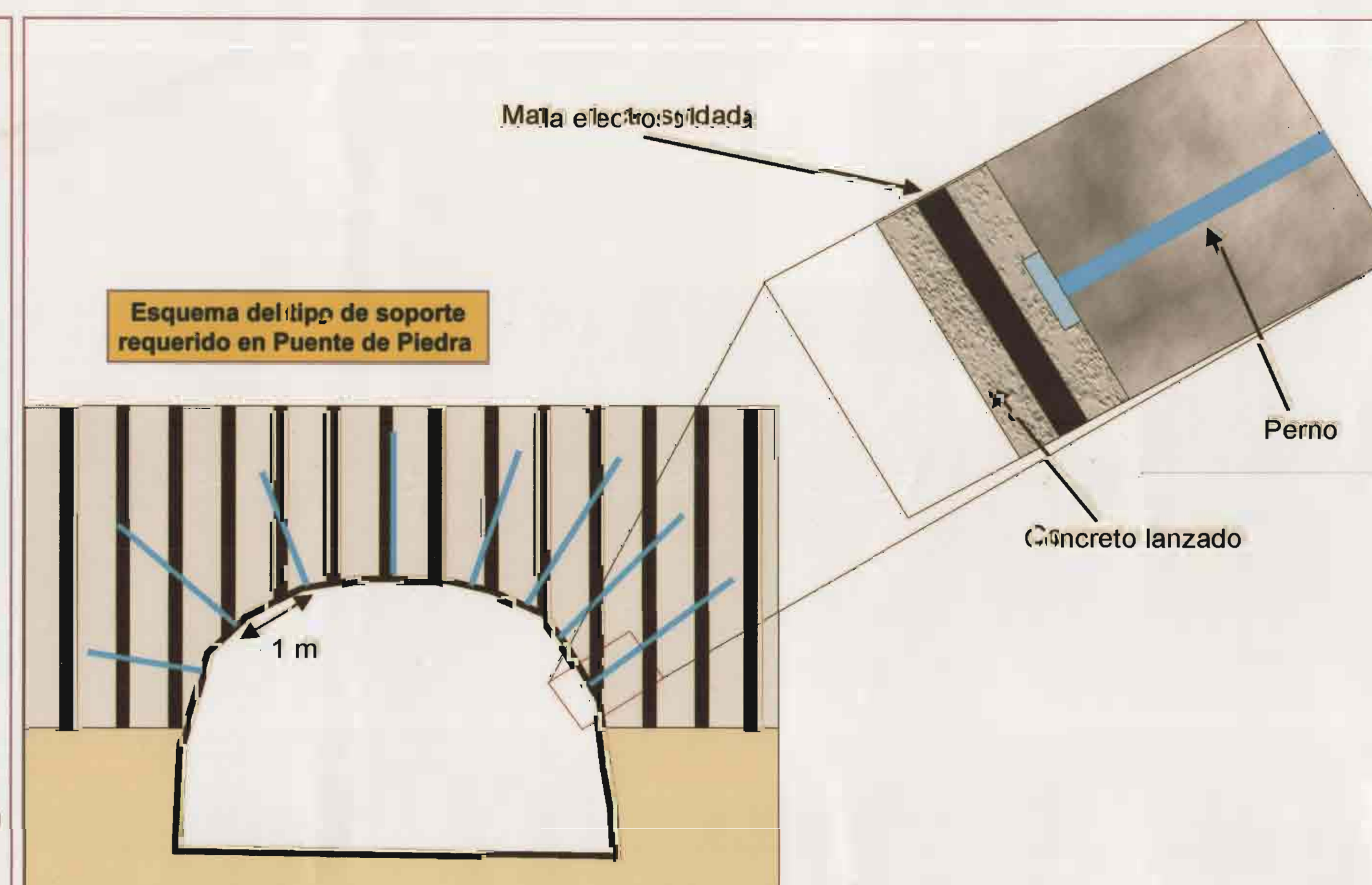
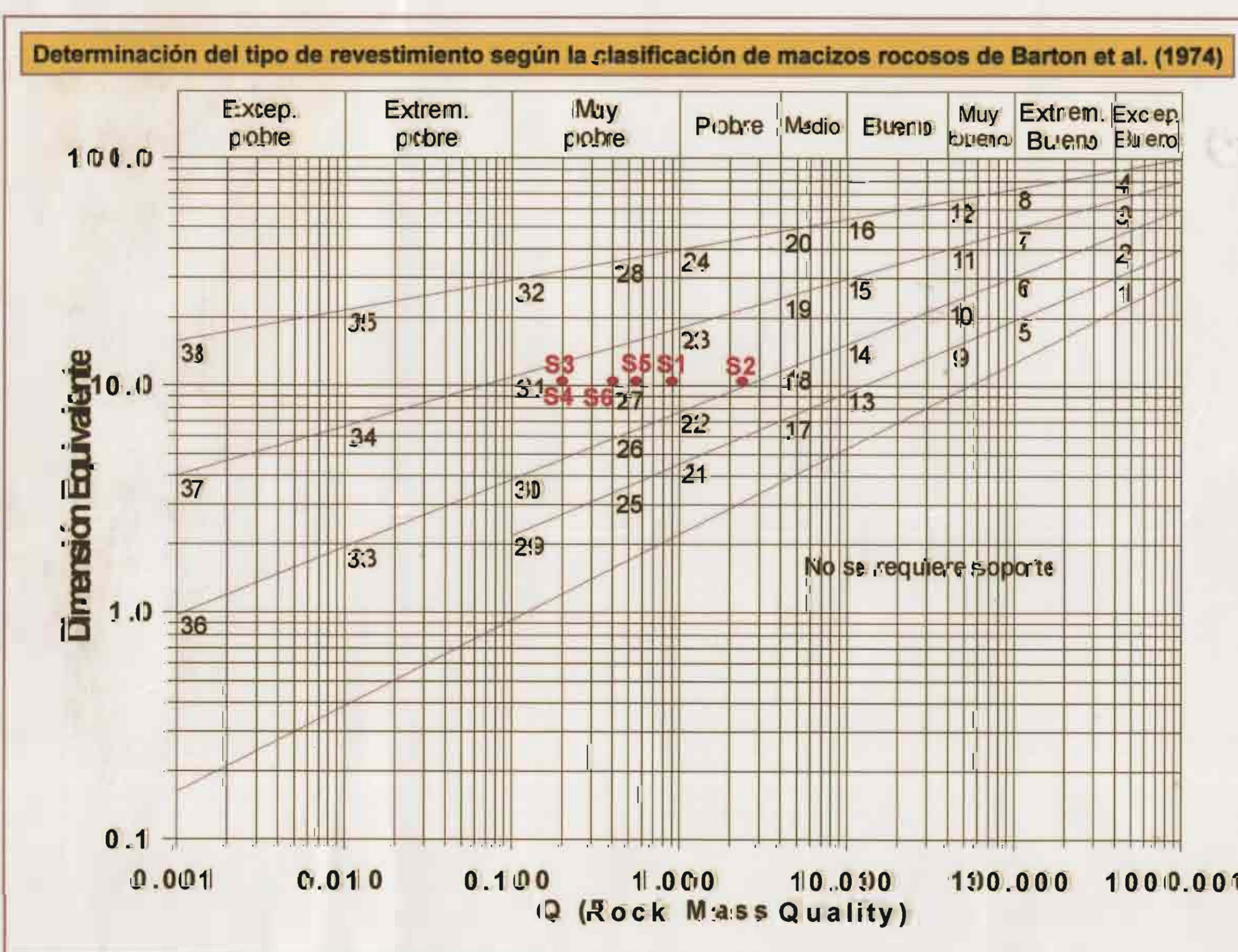
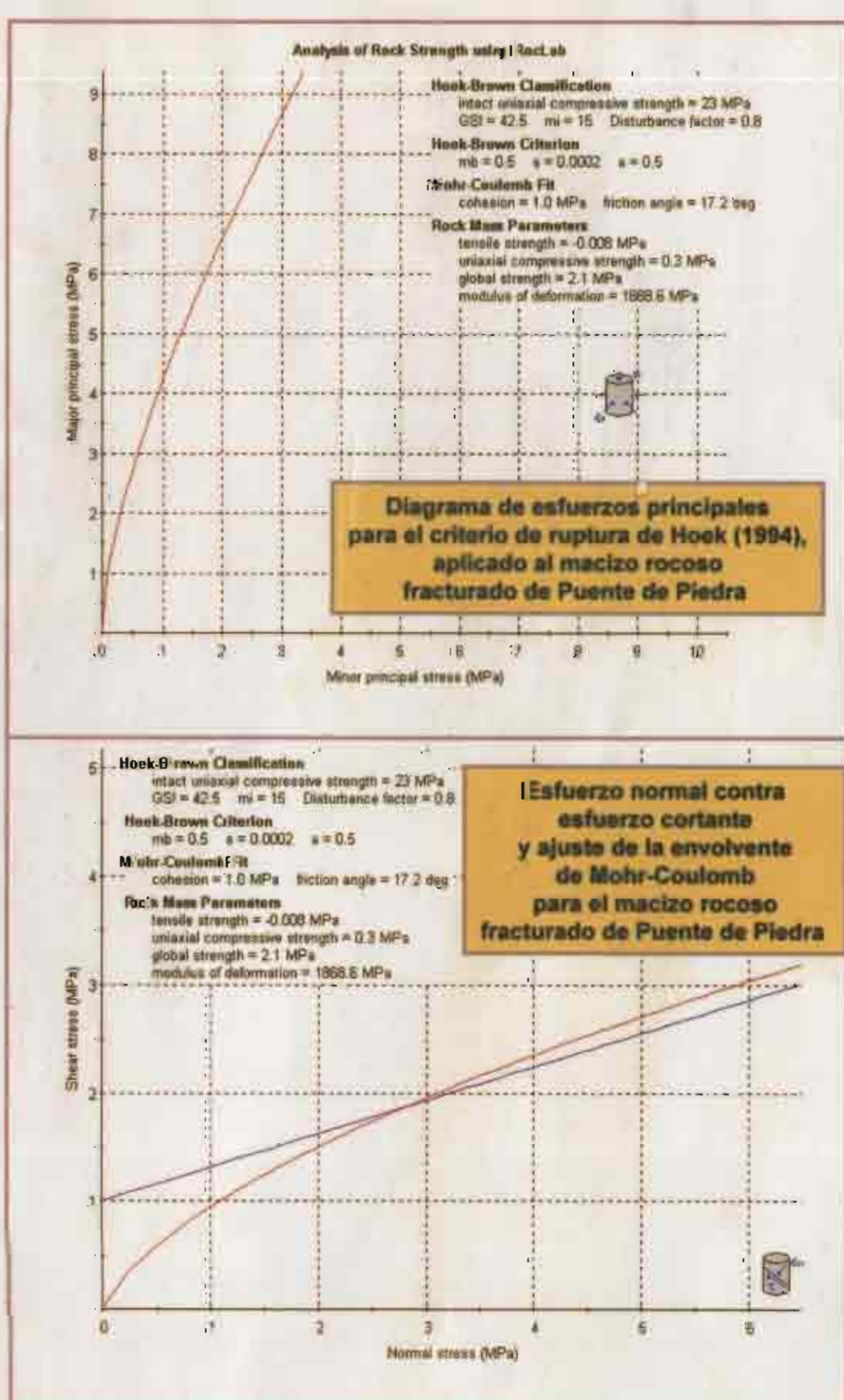
Clasificación del macizo rocoso fracturado

Sitio	Sistema RMR			Sistema Q	
	Puntuación	Clase	Calidad	Valor	Calidad
S1	37	IV	Pobre	0.92	Muy pobre
S2	53	III	Media	2.36	Pobre
S3	35	IV	Pobre	0.20	Muy pobre
S4	34	IV	Pobre	0.20	Muy pobre
S5	31	IV	Pobre	0.55	Muy pobre
S6	41	III	Media	0.40	Muy pobre



Capacidad de soporte de la base del puente

Modelo	Capacidad de carga última [kPa]	Esfuerzo vertical [kPa]	Factor de seguridad
Meyerhof	656	190	3.45
Hansen	501	190	2.64
Vesic	678	190	3.57



CONCLUSIONES.

El Puente de Piedra está compuesto por materiales de origen volcánico de tipo explosivo y caída de cenizas.
 La fundación de la estructura natural se desarrolló a partir de las Brechas del Grupo Aguacate y posteriormente se depositaron flujos piroclásticos y cenizas volcánicas.
 El río Poró se encargó de modelar la sección transversal del arco por el que atraviesa el macizo rocoso ignímbrito.
 En realidad la naturaleza se ha encargado de construir un arco a través del cual fluye el río Poró y no se trata de un puente construido por Satan para cruzar el mismo río, como dice la leyenda. Lo anterior refleja la fascinante astucia de la cultura popular, para dar explicación a algunos procesos naturales cuando no se cuenta con explicaciones científicas.
 La toba masiva que compone la base del puente presenta el efecto de soldadura de las partículas que la componen, pues las mismas se han depositado en condiciones de temperatura elevada.
 La condición actual del puente, desde el punto de vista de la capacidad de carga de la toba masiva, es segura: pues el factor de seguridad se encuentra por encima de un valor de 2.5, sin embargo, se considera conveniente proceder a proteger la base del puente ante la erosión causada por el río Poró durante sus crecidas, mediante la utilización de estructuras diseñadas por un profesional en Ingeniería Civil.
 La calidad del macizo rocoso fracturado es pobre, de acuerdo con el sistema RMR, y muy pobre según el sistema Q, por lo tanto se requiere la implementación de algún tipo de soporte para asegurar su estabilidad.
 Se sugiere la instalación del siguiente tipo de soporte:
 -pernos sistemáticos, activos, cementados, de 4 m de longitud y 1 m de espaciamiento,
 -concreto lanzado de 10 cm de espesor, reforzado con malla electrosoldada.
 Es claro que un revestimiento como el sugerido no es estéticamente aceptable en una estructura natural considerada como patrimonio cultural, por lo tanto, sería muy importante considerar otro tipo de solución para brindar estabilidad al puente, como lo es la inyección del macizo rocoso con lechada de cemento.
 Si se toma en cuenta que el costo de las obras sugeridas es alto y que, desde el punto de vista de la seguridad vial, el Puente de Piedra no es una estructura apropiada para el tránsito vehicular, pues se encuentra en curva, solo cuenta con un carril y la vegetación impide la visibilidad, entonces se debe valorar la posibilidad de construir una vía alternativa con su respectivo puente.