



**SECEG**

ITA-AITES 2005 World Tunnel Congress

Istanbul; 7-11 May, 2005



**shed**

## **OPEN SESSION**

# **THE GIBRALTAR STRAIT TUNNEL**

## **AN OVERVIEW OF THE STUDY PROCESS**

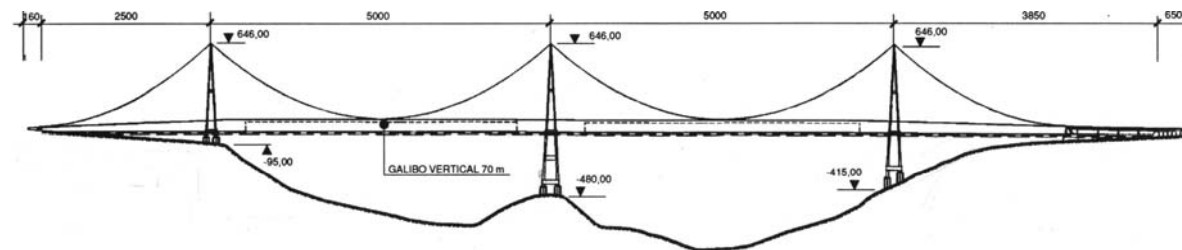
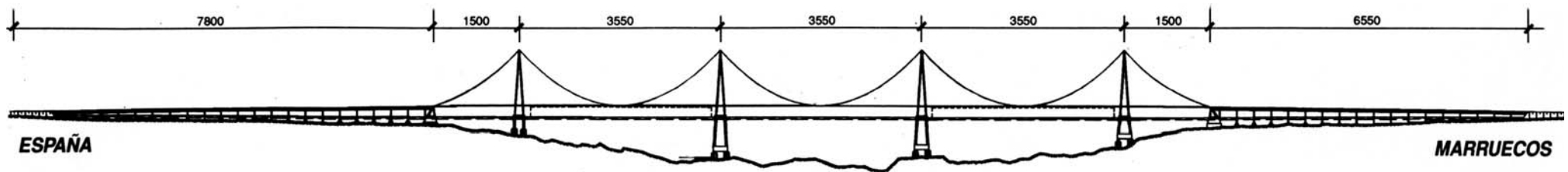
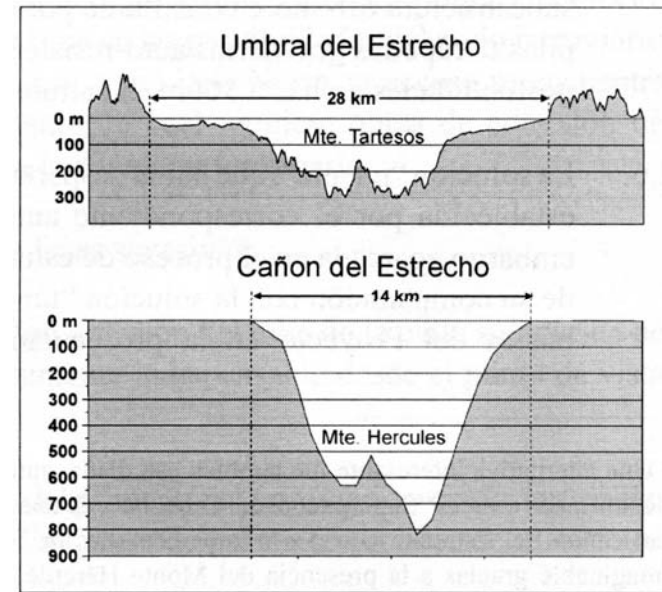
## THE PROJECT's INSTITUTIONAL FRAME

- **Legal Grounds:** Bilateral Agreements between Spain and Morocco (24 Oct 1980 & 29 Sept 1989)
- **Objective:** The study in common by the parties of a fixed link Europe-Africa across the Strait of Gibraltar
- **Authority:** The Intergovernmental Joint Committee for the Strait Link Project
- **Agencies:** Two state owned agencies, SECEG (Madrid) and SNED (Rabat)
- **Role of Agencies:** Development of studies in accordance with Working Plans approved by the Joint Committee
- **Ongoing Working Plan:** Time terms 2004-2006. Objective: Feasibility Report (updating)

## ITA SUPPORT TO THE PROJECT

- UN/ITA Open Session on the Gibraltar Strait Crossing. ITA World Tunnel Congress; *Cairo; April, 1994*
- Wokshop on **Characterization of TBM for tunnelling flysches**. *Tarifa, February 1997*
- Workshop on **Costing of TBM-built tunnels**. *Rabat, April 1999*
- Workshop on **Systematic ground probing and treatment in mechanised tunnelling**. *Madrid, January 2005*
- Workshop on **Risk analysis and safety strategies in hazardous tunnelling**. *Rabat, 2006 (in preparation)*

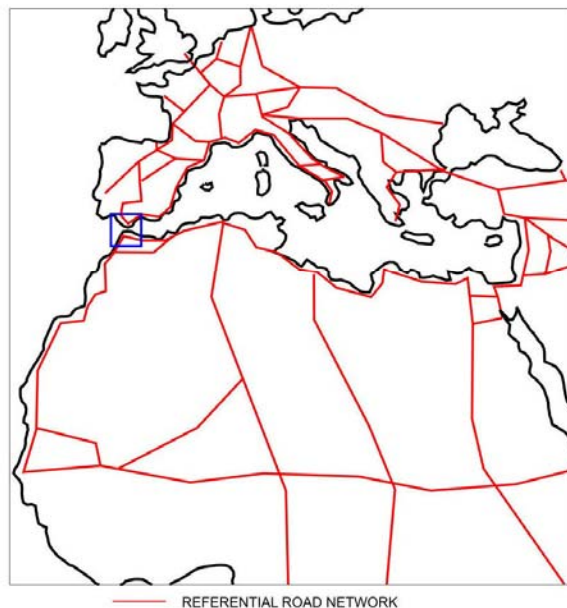
# THE BRIDGE SOLUTION





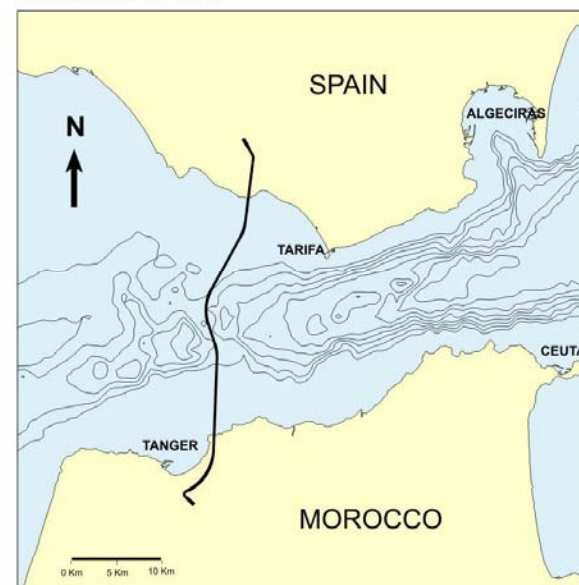
## F.1. The Basic Alternative (1)

GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT

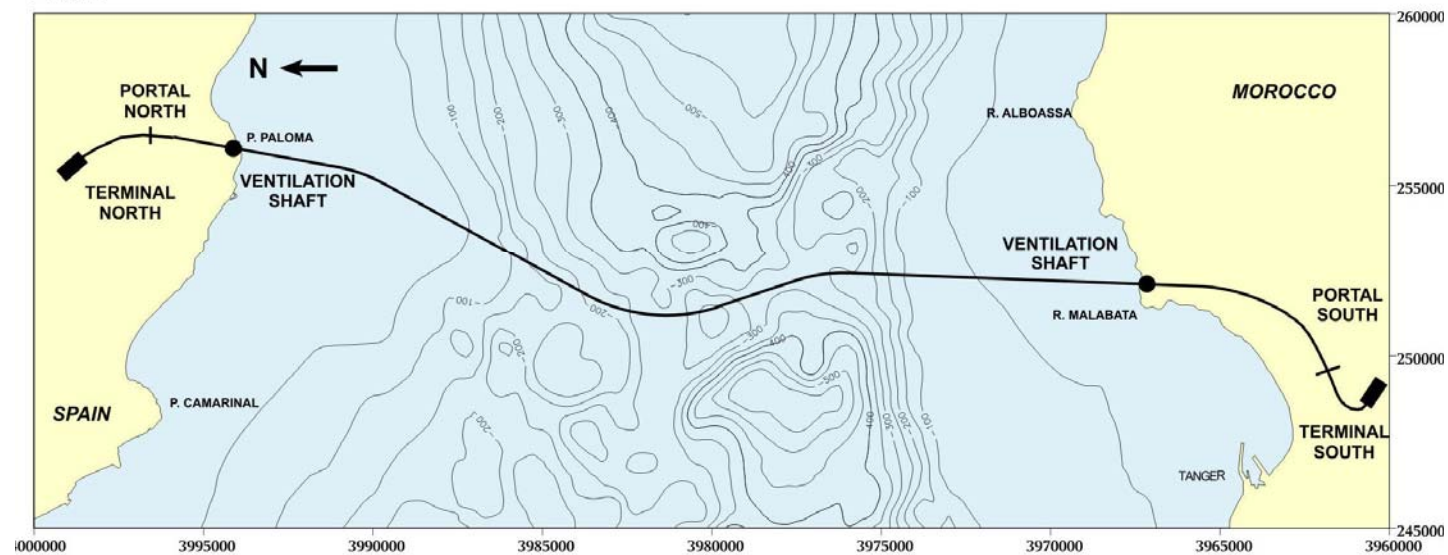


— REFERENTIAL ROAD NETWORK

LOCATION MAP

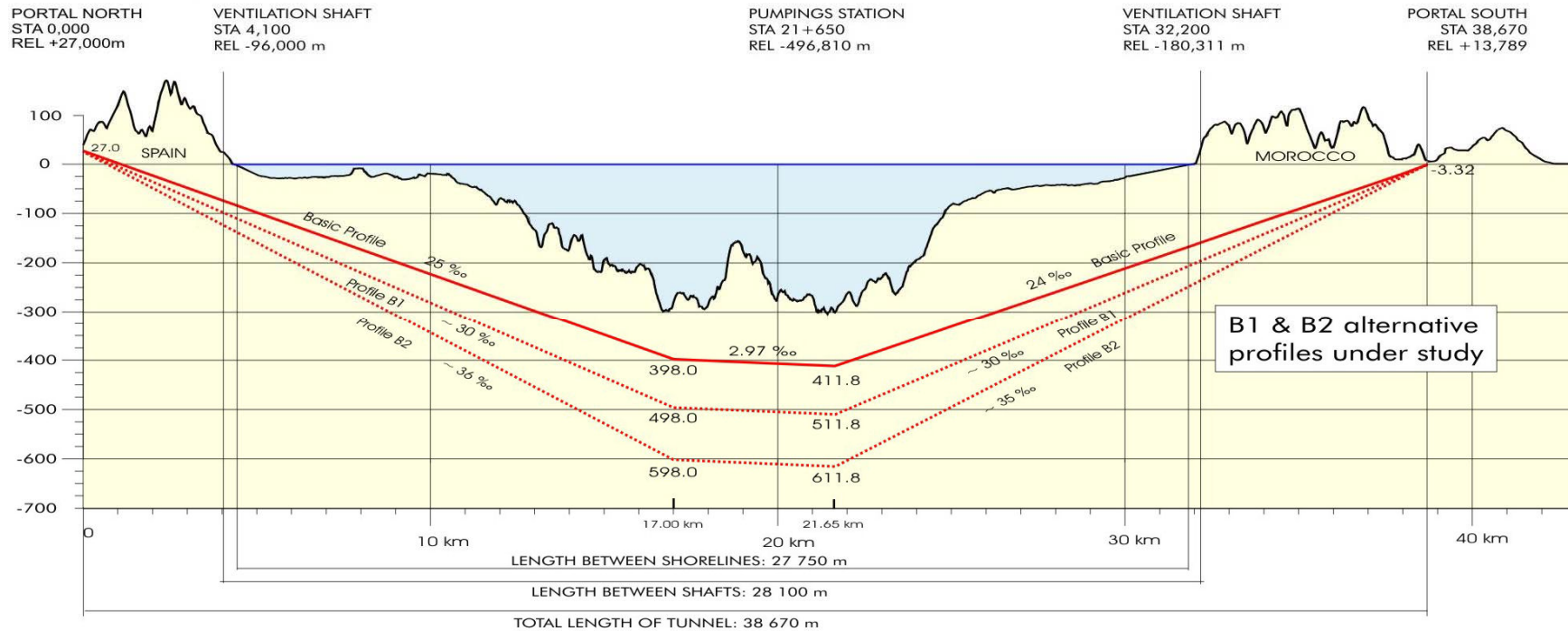


PLAN



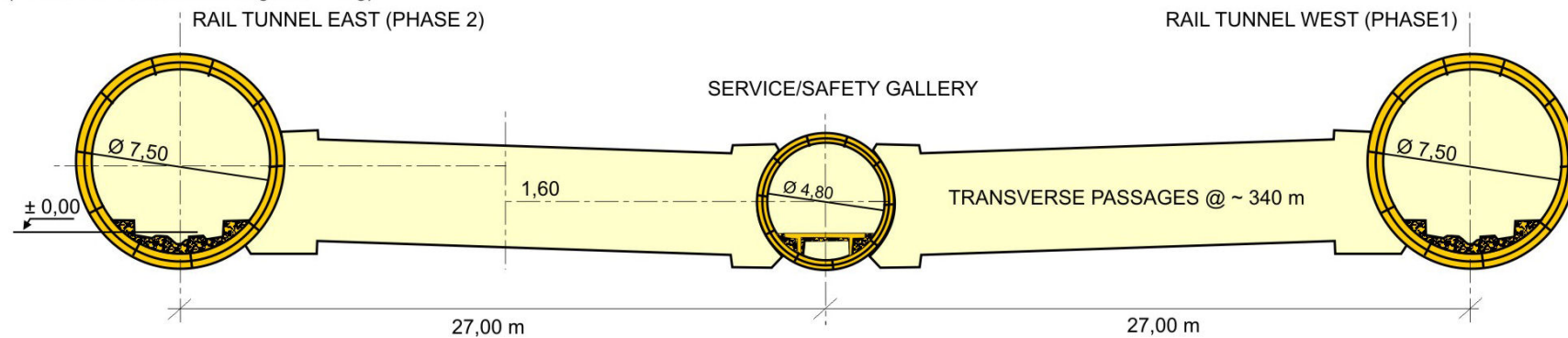
## The Basic Alternative (2)

### ELEVATION (tunnel)



### TYPICAL CROSS SECTION

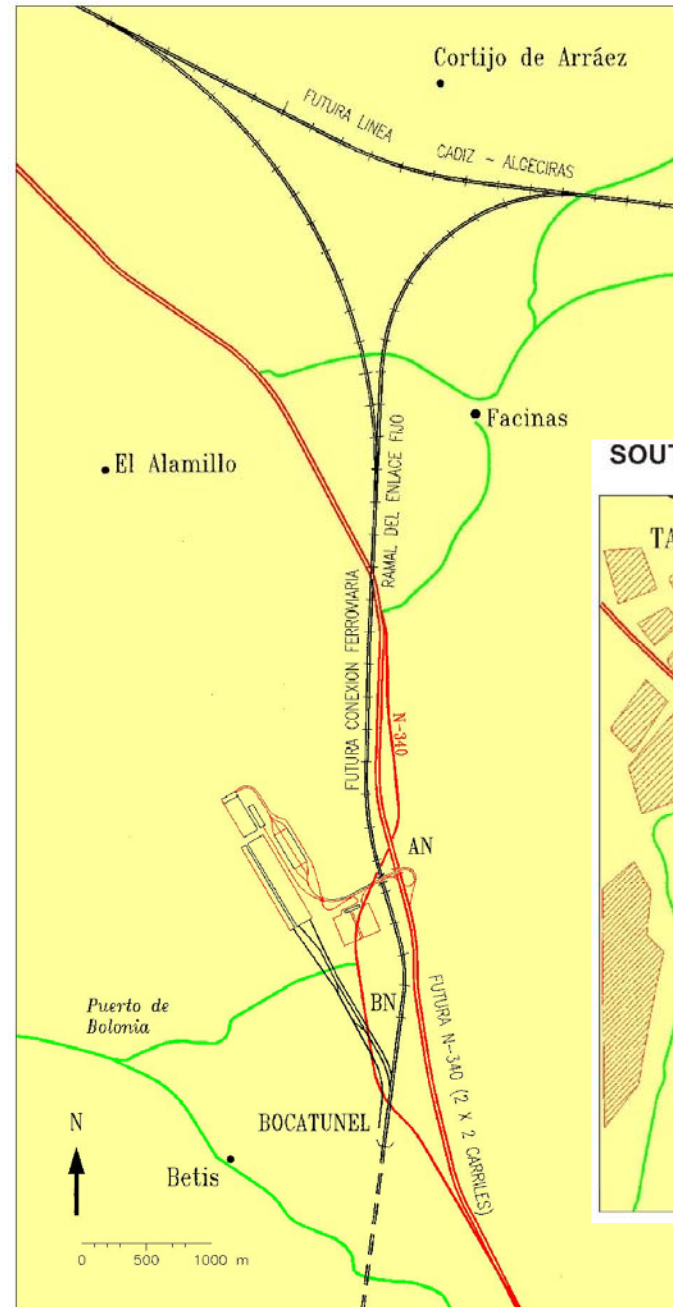
(All tunnels with concrete segment lining)



## FIXED LINK AND INFRASTRUCTURES

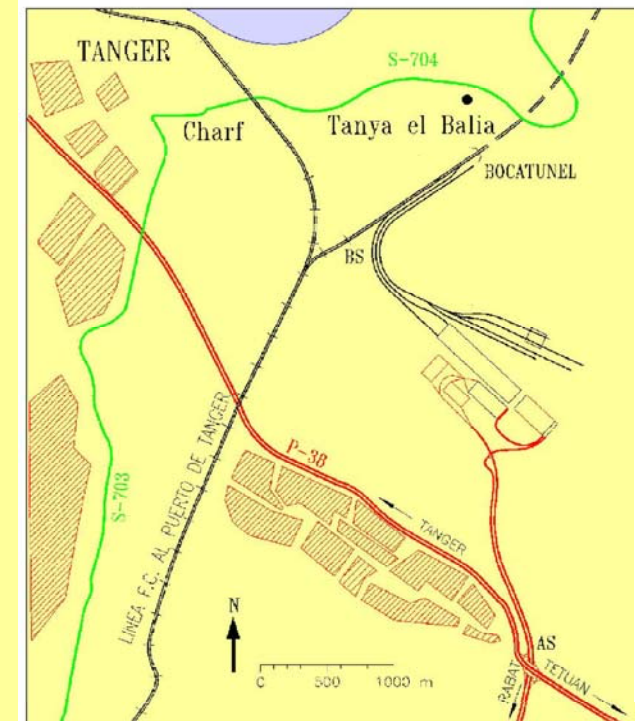


## NORTH TERMINAL



# Connection Works

## SOUTH TERMINAL



## MAIN CHARACTERISTICS OF THE BASIC ALTERNATIVE (1)

- **Function.-** A rail tunnel for conventional rail traffic, allowing ferrying of road vehicles on shuttle trains between two terminals one at each shore of the Straits.
- **Route.-** Follows the Sill of the Strait. Coast-to-coast distance: ~ 28 km; Max. water depth: ~ 300 m
- **Length.-** Distance between terminals: ~ **42 km**. Total tunnel length: **37.7 km**. Undersea tunnel length: **27.7 km**
- **Tunnel profile.-** Data at deepest point:

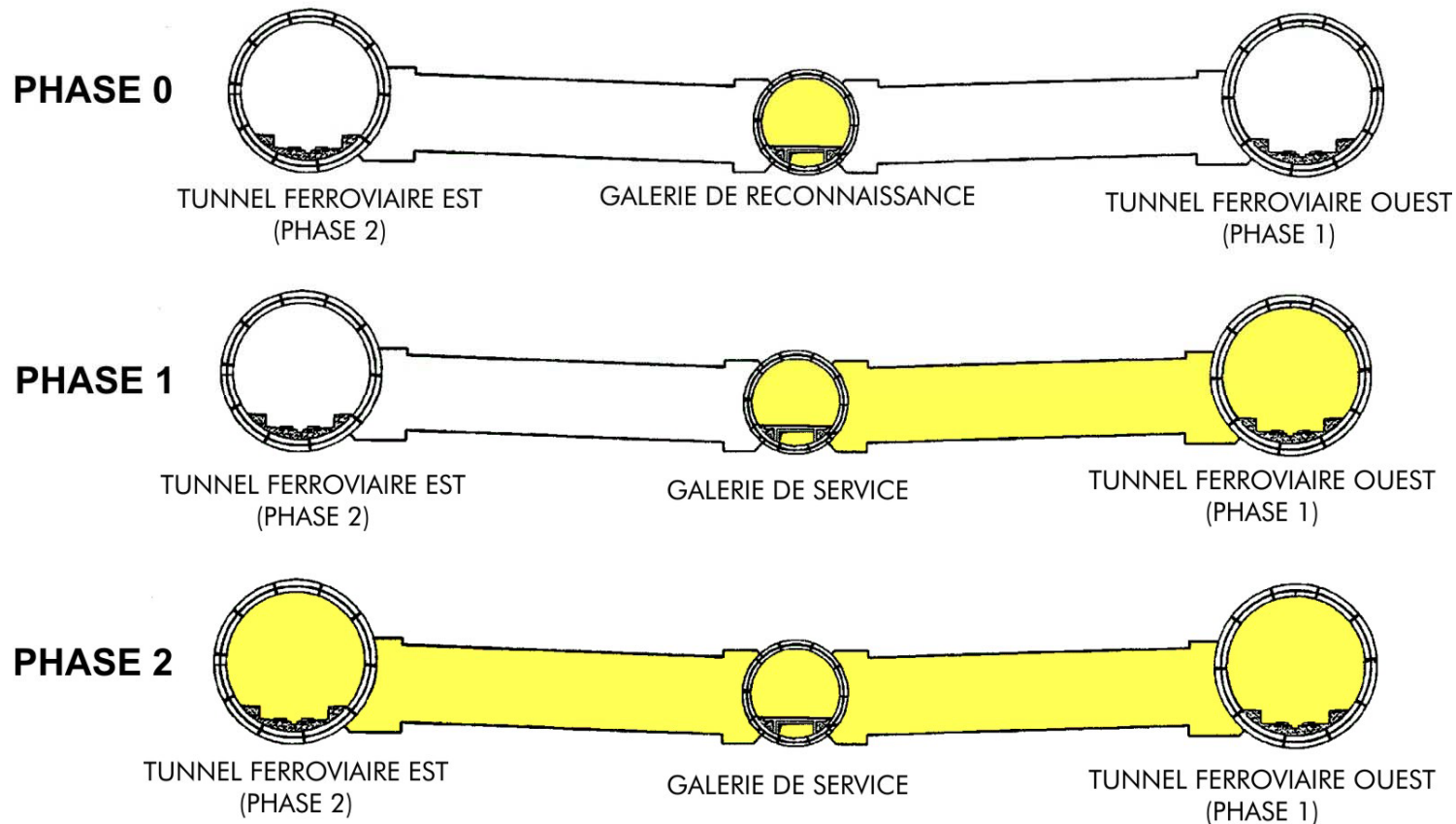
	Interval under study	
Elevation, masl	-400	-500
Water depth, m	300	300
Ground overburden, m	100	100
Distance from North portal, km	21.7	21.7
Maximum grade, 1/1,000	25	30

- **Cross-section.-** 2 one-track rail tunnels + 1 safety/service gallery

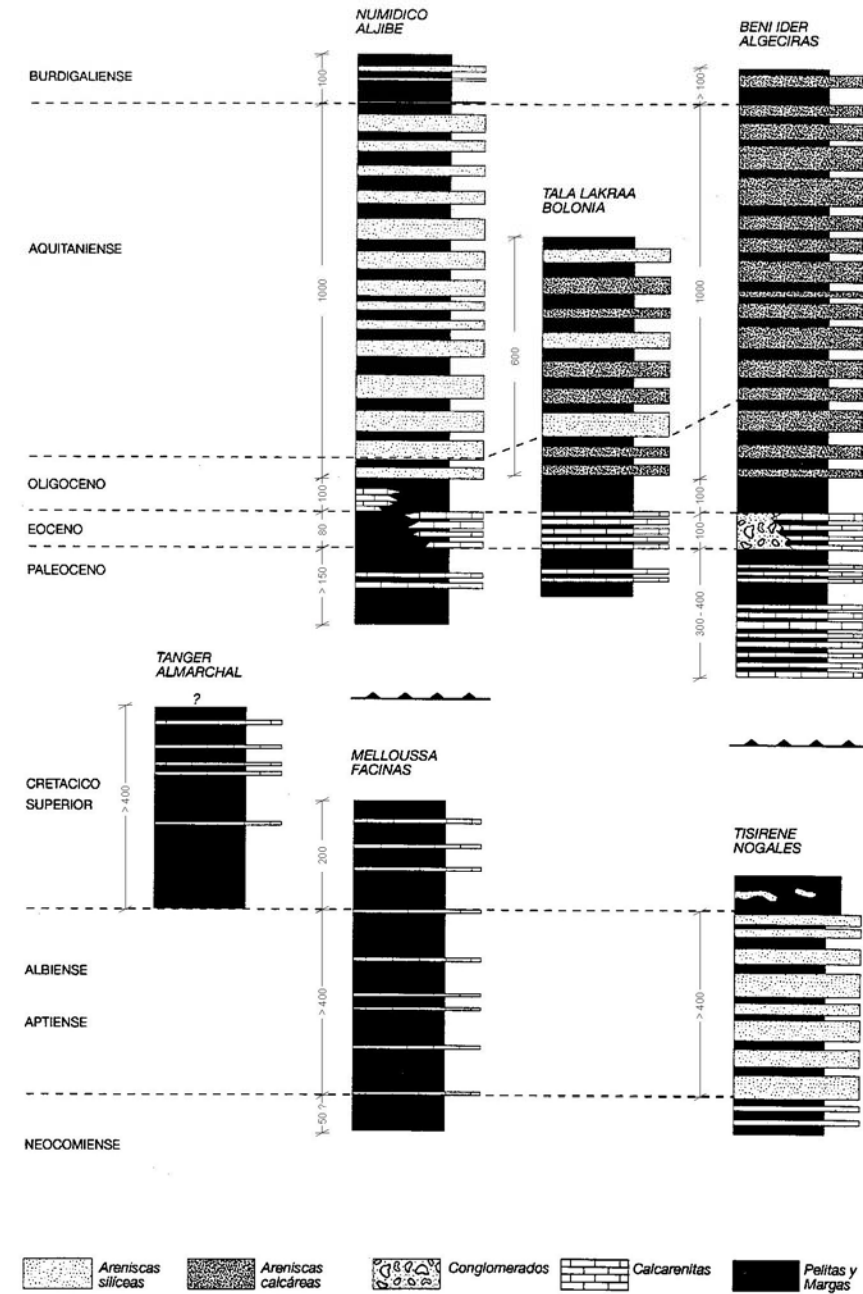


## MAIN CHARACTERISTICS OF THE BASIC ALTERNATIVE (2)

- **Project Phases.-**
  - Phase 0. **PILOT GALLERY** (Undersea portion of safety/service gallery)
  - Phase 1. **ONE-TUBE SERVICE** (Follows shortly Phase 0)
  - Phase 2. **TWO-TUBE SERVICE** (Would follow decades after completion of Phase 1, as required by traffic demand)



## Lithology of the Units of Flysch



# Marine Geological Campaigns

## LIST OF CAMPAIGNS

**1. HERCULES 80 (IEO)**  
1.373 km sismica reflexión  
1.373 magnetometría

**2. CORNIDE DE SAAVEDRA 81 (CSIC)**  
105 muestras gravitatorias

**3. HERCULES 81 (IEO)**  
2.430 km sismica reflexión  
2.430 magnetometría

**4. SEAZAGAN 82 (CNEOX)**  
800 km sismica reflexión  
180km2 batimetría multi-haz

**5. CORNIDE DE SAAVEDRA 82 (CSIC)**  
55 muestras gravitatorias

**6. AQUASTAR 82 (FA)**  
80 km sismica alta resolución  
29 muestras gravitatorias

**7. GARCIA DEL CID 82 (CSIC)**  
167 muestras gravitatorias

**8. TOFIÑO 83 (IGUH)**  
2.000 km gravimetría

**9. HERCULES 83 (IEO)**  
2.010 km sismica reflexión  
2.010 magnetometría

**10. GARCIA DEL CID 84 (CSIC)**  
201 muestras gravitatorias

**11. TARIK 84 (IEO)**  
264 km side-scan sonar  
264 km sismica reflexión

**12. CABEZOS 84 (SECEG)**  
57 muestras de superficie

**13. TARIK 85 (IEO)**  
208 km side-scan sonar  
208 km sismica reflexión

**14. GARDLINE 86 (GS)**  
250 km sismica alta resolución

**15. TARIK 87 (IEO)**  
300 km side-scan sonar  
300 km sismica reflexión

**16. TARIK 88 (IEO)**  
288 km side-scan sonar  
288 km sismica reflexión

**17. EL LAHIQ 88 (MRM)**  
125 km side-scan sonar  
400 km batimetría  
30 muestras gravitatorias

**18. GARCIA DEL CID 89 (CSIC)**  
583 km side-scan sonar  
334 km sismica reflexión

**19. TARIK 89 (IEO)**  
288 km side-scan sonar  
288 km sismica reflexión

**20. GARCIA DEL CID 90 (CSIC)**  
128 km side-scan sonar  
267 muestras gravitatorias

**21. SEA NAUTILUS 91 (BGS)**  
15 sondeos cortos (<4m)

**22. BATHYMETRIE 91 (IFREMER)**  
batimetría multi-haz de la zona del Proyecto;  
mapa 1:5000, isobatas 1 m  
side-scan sonar (anulado)

**23. TARIK 91 (IEO)**  
540 km side-scan sonar  
540 km sismica reflexión

**24. GARCIA DEL CID 92 (CSIC/OS)**  
160 km side-scan sonar

**25. TARIK 93 (IEO)**  
225 km side-scan sonar

**26. GARCIA DEL CID 93 (CSIC)**  
541 muestras gravitatorias  
**27. VALDIVIA 93 (IGUH)**  
410 km sismica reflexión y refracción  
Microsismicidad y respuesta sismica

**28. KOMMANDOR THERESE 94 (BGS)**  
29 sondeos cortos (<5m)

**29. RIFT/ARGUS 94 (IORAN)**  
40 horas de vídeo submarino

**30. GARCIA DEL CID 94 (CSIC)**  
510 muestras gravitatorias

**31. BAVENIT 95 (AQUATIC)**  
Test de perforación con 300 m de profundidad  
de agua  
25 sondeos cortos totalizando 94 m

**32. X-STAR 96 (EGA)**  
30 km side-scan sonar  
1km de geofísica alta resolución con fuente X-Star del GNS (investigación detenida por averías continuadas)

**33. BUCENTAUR 97 (DSND)**  
314 m de perforación testificada en 4 emplazamientos en el centro del Estrecho con lámina de agua entre 170 y 275 m  
Mejores sondeos: 104; 118 m de penetración

**34. OCEANOR 98 (OCEANOR)**  
12 días de medidas de corrientes superficiales en 2 boyas situadas en fondeos semipermanentes

**35. GARCIA DEL CID 98 (CSIC)**  
48h (400km) de medidas Doppler de corrientes para el estudio de su variación a lo largo del Umbral

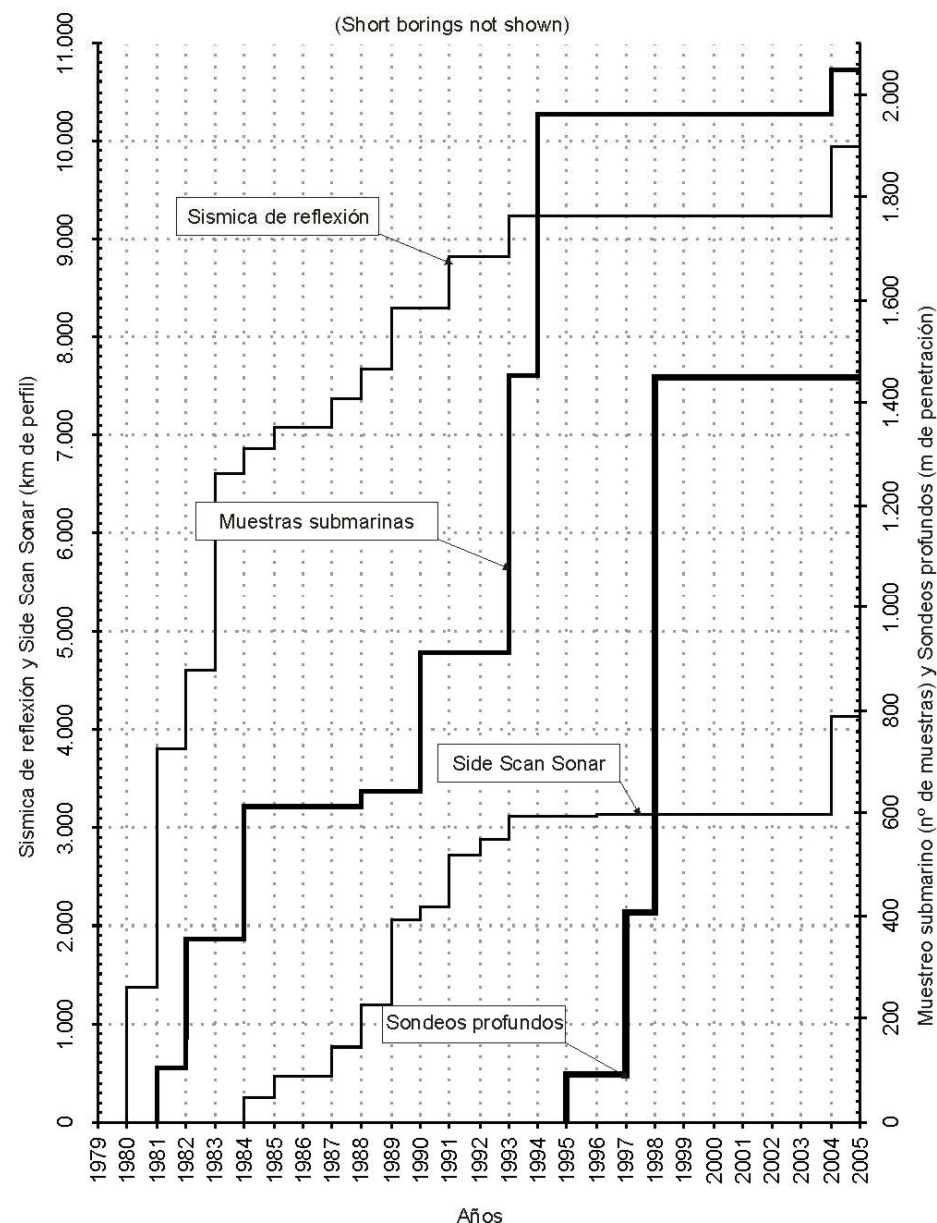
**36. NORSKALD 98 (DSND)**  
1.040 m de perforación testificada en 6 emplazamientos en el centro del Estrecho con lámina de agua entre 155 y 300 m  
Mejores sondeos: 160; 216; 217; 223 m de penetración

**37. VIZCONDE DE EZA 2001 (IEO)**  
800 km<sup>2</sup> de levantamiento batimétrico multihaz sobre ~ 40% del Estrecho entre las embocaduras atlántica y mediterránea

**38. MYTILUS 2004 (UCA)**  
Medidas de corrientes para el estudio de las ondas internas del Estrecho

**39. GEOLOGIA PLATAFORMAS 2004 (CETMAR)**  
1000 km side-scan sonar  
700 km sismica reflexión  
86 muestras gravitatorias

## EVOLUTION OF INVESTIGATION

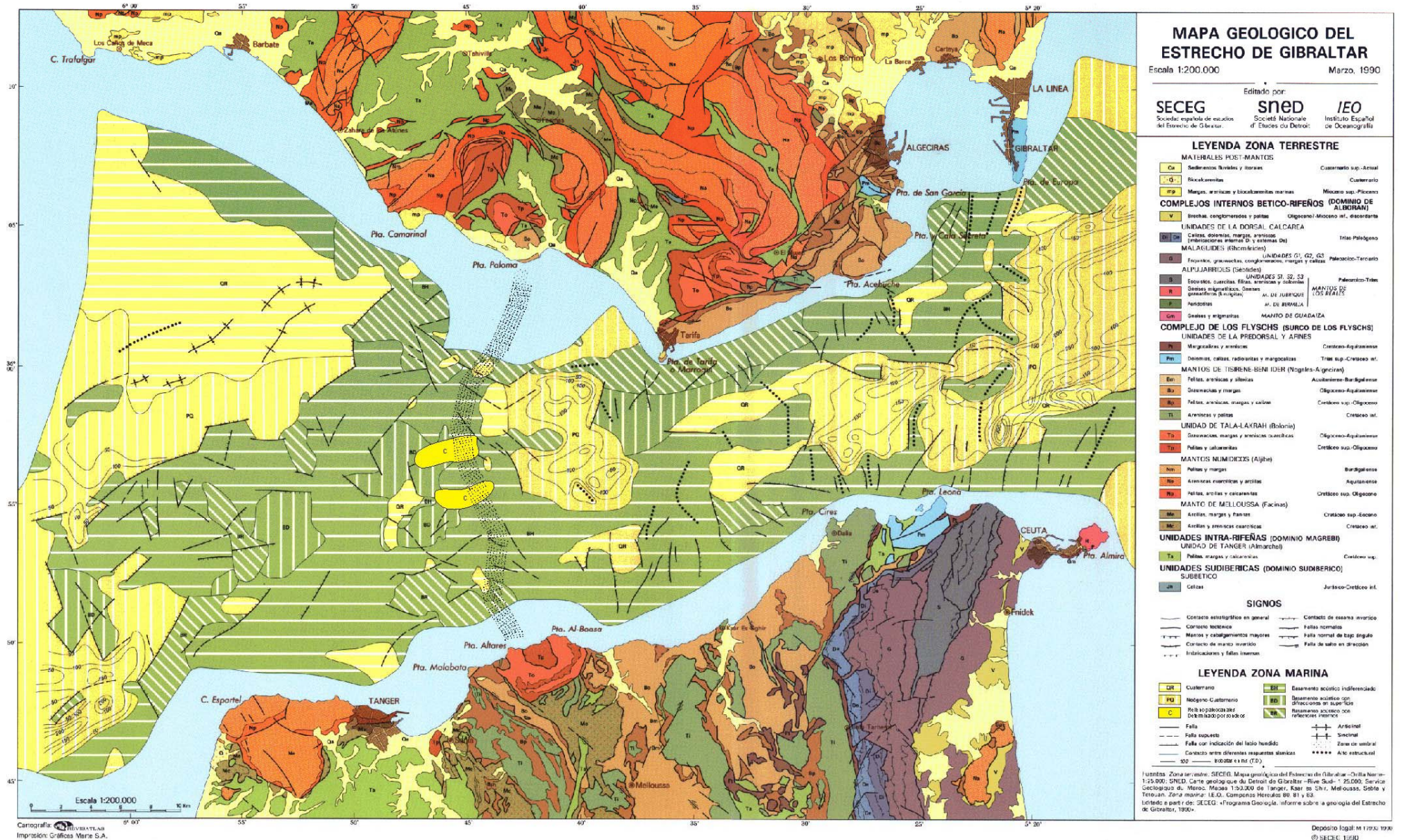


IEO: Instituto Español de Oceanografía • CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas • FA: Fairfields Aquatronics • GS: Gardline surveys • IGUH: Institut für Geophysik Universität Hamburg • CNEOX: Centre National pour l'Exploration des Océans • MRM: Marine Royale Marocaine • BGS: British Geological Survey • OS: Océansismique • IORAN: Institute of Oceanology P.P. Shirshov of Russian Academy of Sciences • AQUATIC: Aquatic Company Ltd. • DSND: DSND Subsea AS • EGA: Estudios Geomambientales, S.L. • OCEANOR: Oceanor AS • GSN: Geological Survey Nederland • UCA: Universidad de Cádiz • CETMAR: Centro Tecnológico del Mar (Vigo)





# Geological Map of the Strait of Gibraltar

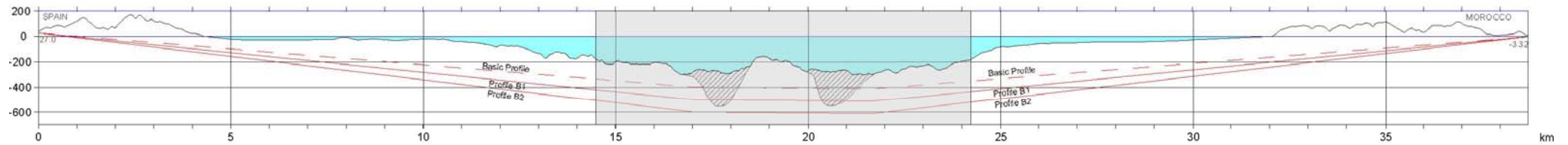




# Schematic Geological Profile

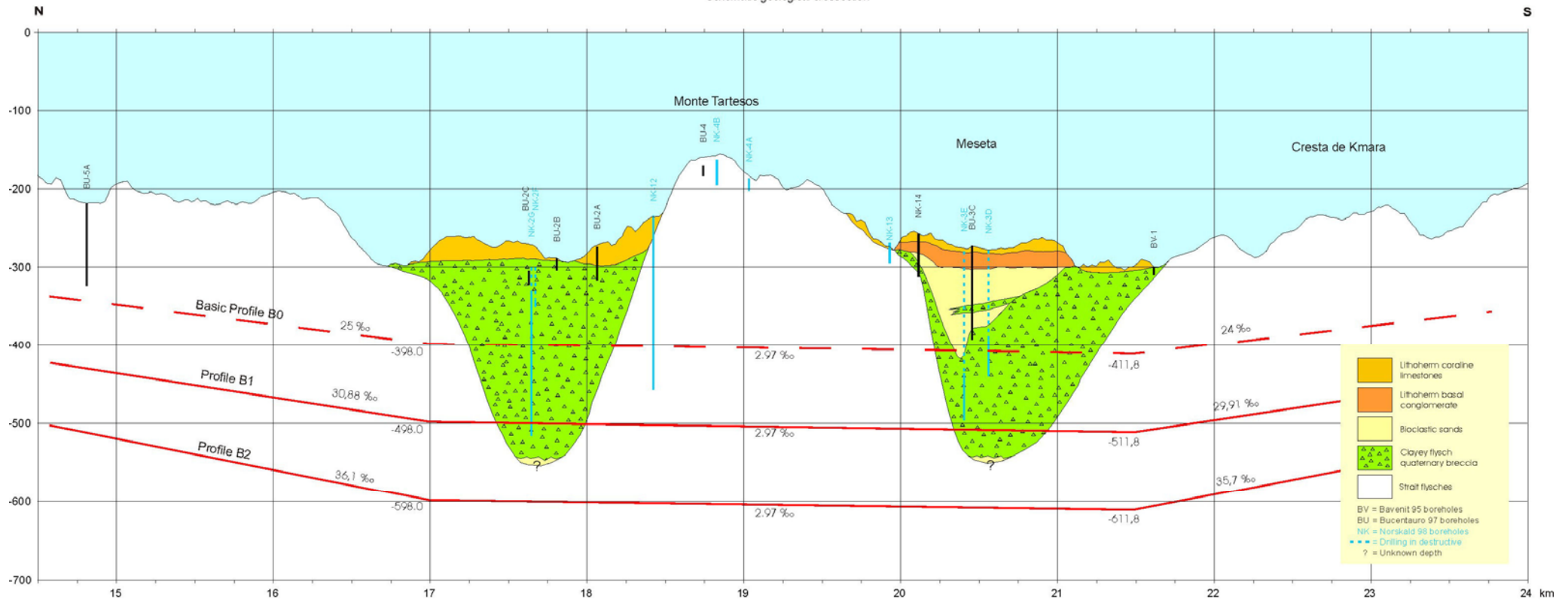
## A. BASIC PROFILE AND DEEP ALTERNATIVES

Basic Profile ( $z \approx -400$  m;  $i = 25$  ‰) ● Profile B1 ( $z \approx -500$  m;  $i = 30$  ‰) ● Profile B2 ( $z \approx -600$  m;  $i = 35$  ‰)



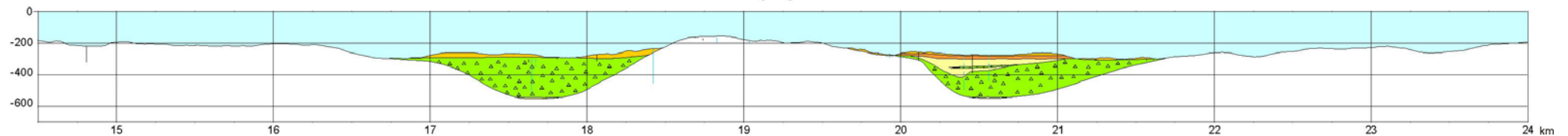
## B. PALEOCHANNELS (Eh = 1:25000; Ev = 1:5000)

Schematic geological crosssection



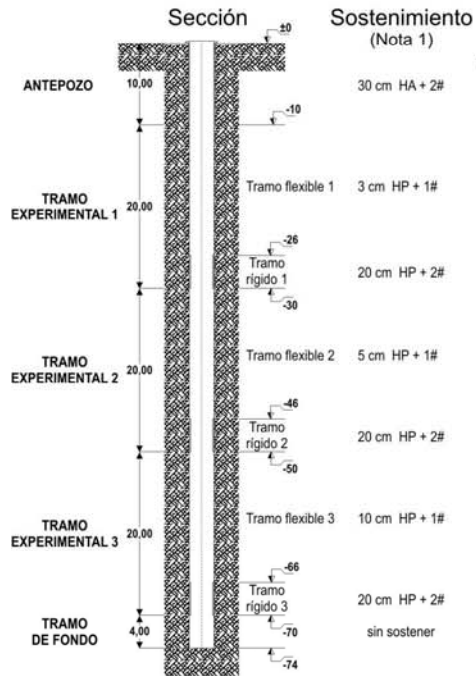
## C. PALEOCHANNELS (Eh = 1:25000; Ev = 1:25000)

Schematic geological crosssection



# Experimental Works of Bolonia and Tarifa

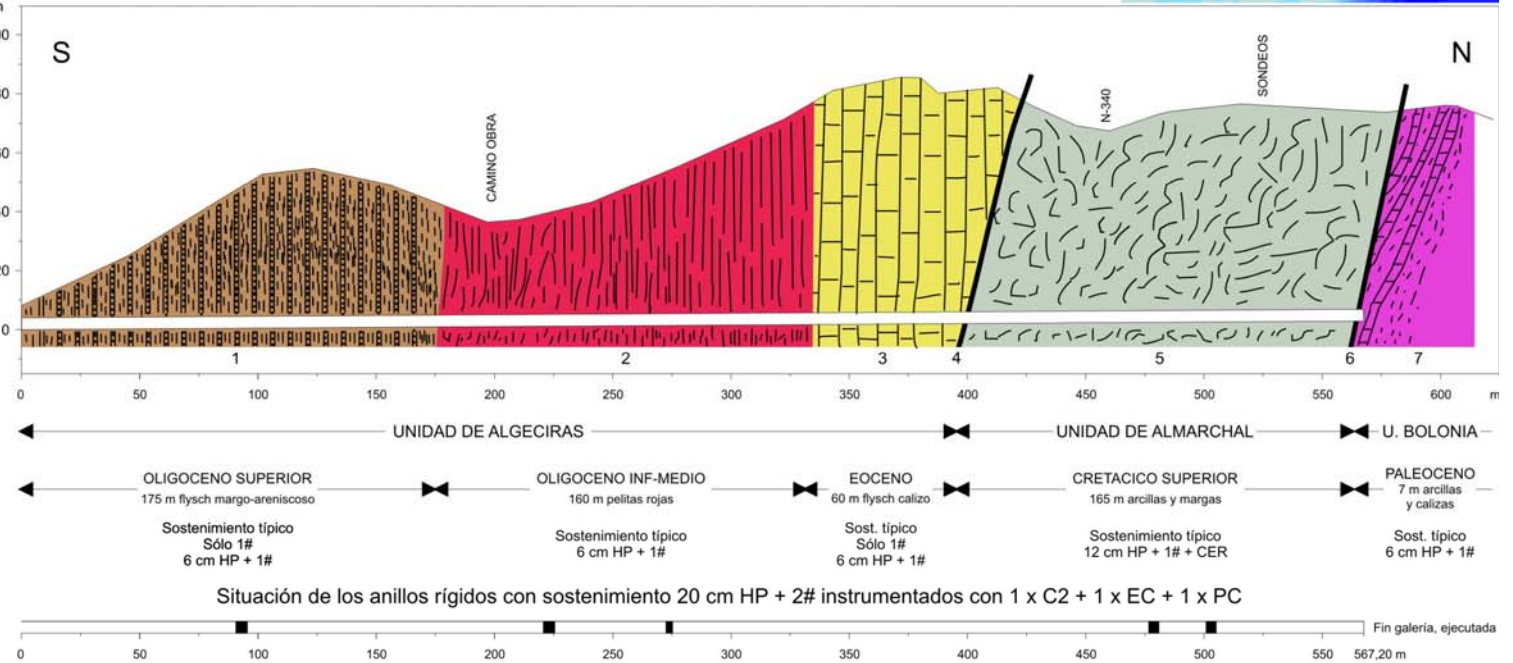
**POZO DE BOLONIA**  
Profundidad: 74 m • Diámetro: 3,5 m • Perforación: martillo manual  
Instrumentación: 26 x C2 + 4 x ER + 3 x EC + 3 x PC (Nota 2)



## GALERIA DE TARIFA

Longitud: 567,20 m • Diámetro: 3,80 m • Perforación: TBM sin escudo  
Instrumentación: 62 x C2 + 10 x ER + 5 x EC + 5 x PC (Nota 2)

### Corte geológico



Nota 1. La instrumentación se indica en nº de secciones instrumentadas de cada tipo: C2 = 2 convergencias • ER = 4 extensómetros radiales • EC = 4 extensómetros circunferenciales • PC = 4 células de presión radiales.  
Nota 2. Los sostenimientos, en espesor en cm de HA (hormigón armado) o de HP (hormigón proyectado con fibra de acero) • Número de mallas de 100 x 100 mm x Ø 8 mm (#) • Cerchas UPE 120 por metro (CER).



Pozo de Bolonia. Al fondo el cerro de San Bartolomé



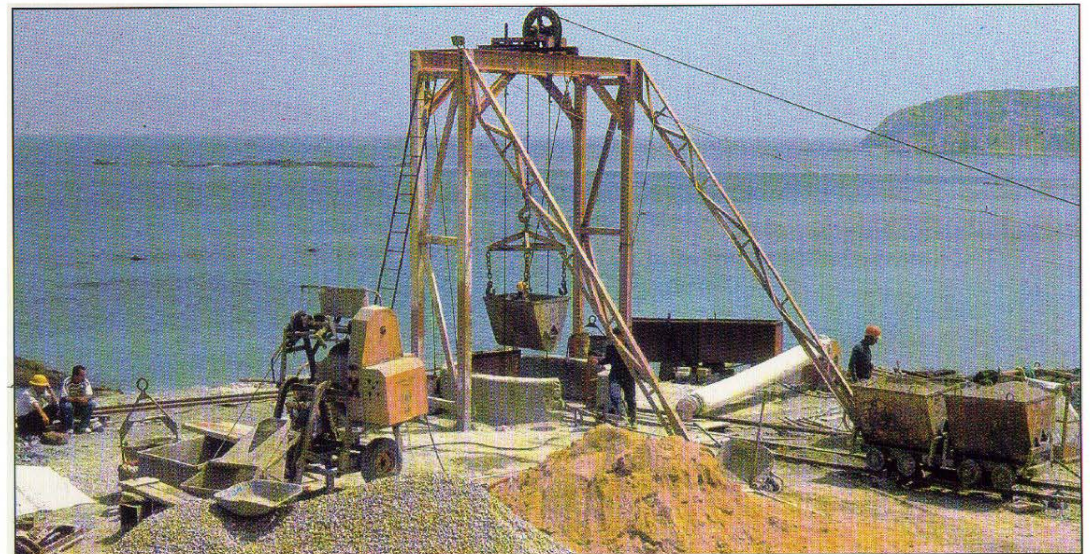
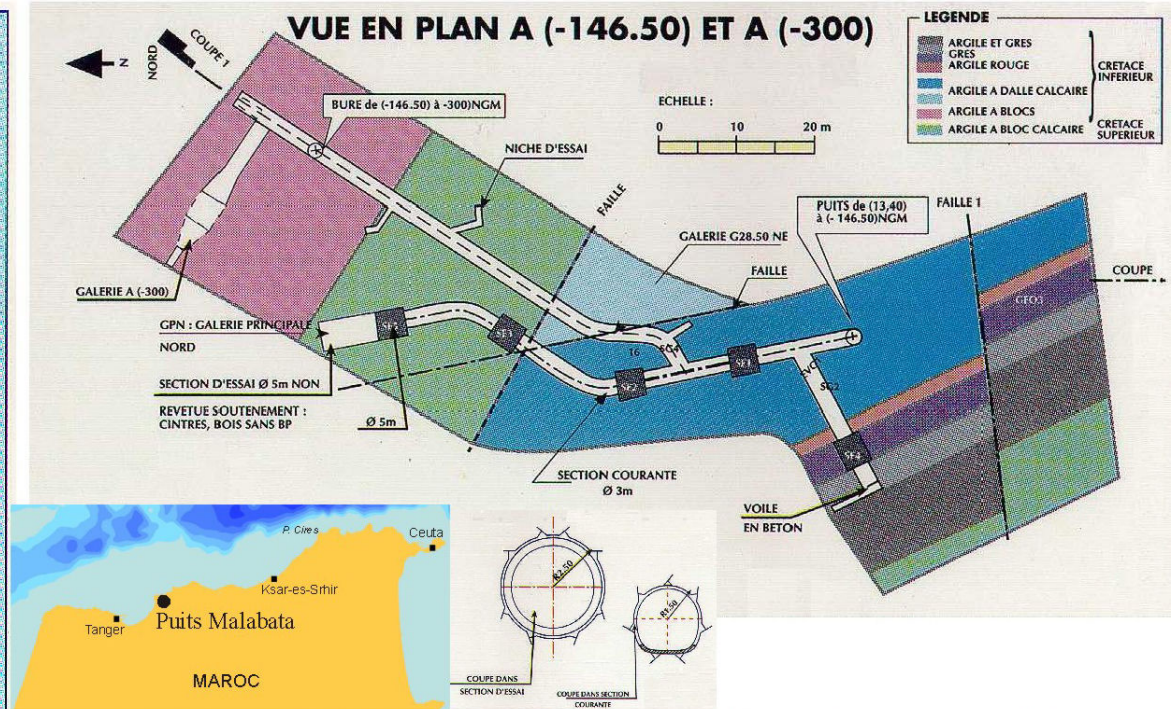
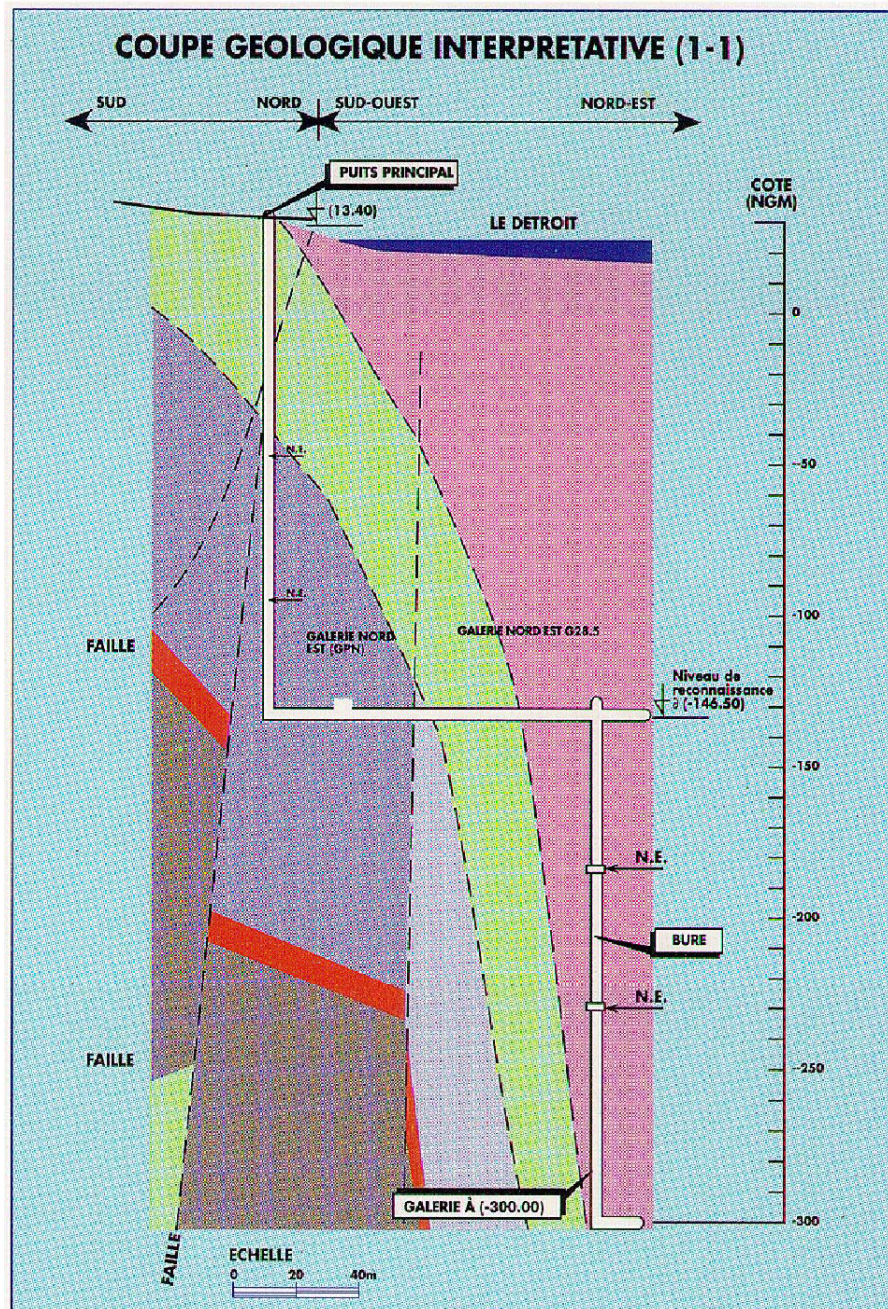
Tuneladora Ø 3,80 m utilizada en la Galería de Tarifa



Galería de Tarifa. Tramo de flysch margo-areniscoso



## Experimental Shaft of Malabata



Accès à l'ouvrage Malabata. Au fond, à l'est. Pointe Altarès



## Geotechnical Characteristics of Weak Flysches

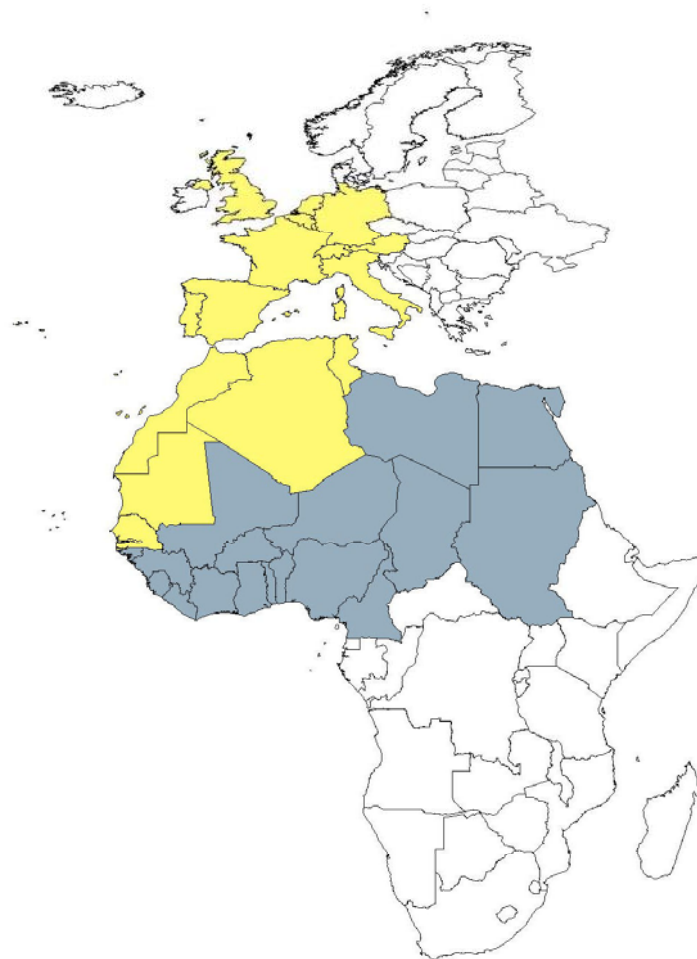
OBRA EXPERIMENTAL	POZO BOLONIA (1)	GALERIA TARIFA (2)			POZO MALABATA (3)
Litología	Almarchal Arcilloso	Almarchal Arcilloso	Almarchal Margoso		Beni Ider Margoso
<b>Granulometría</b>					
<0.002 mm (%)		22.03	26.72		25
<0.06 mm (%)	88.3	90.09	73.89		
<0.08 mm (%)					85
<2.00 mm (%)	93.57	~ 100	~ 100		100
<b>Plasticidad</b>					
LL (%)	78	64	39		79
LP (%)	29	29	23		32
IP (%)	49	35	16		47
<b>Estado natural</b>					
$\omega$ (%)	15.7	13.9	10.5		10.7
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.3	24.7	25.2		23.3
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.4	19.4	20.6		21.1
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.4	27.8	27.6		25.8
<b>Módulo Deformación (4)</b>		<b>P</b> <b>D</b> <b>G</b>	<b>P</b> <b>D</b> <b>G</b>		
E (Mpa)	250	237.8 407.8 436.9	754.4 625.6 1189.3		650
<b>Parámetros Resistentes</b>					
$q_u$ (MPa)		0.42	0.43		
	<b>A</b> <b>B</b> <b>C</b>	<b>A</b> <b>B</b> <b>C</b>	<b>A</b> <b>B</b> <b>C</b>		
$c'$ (MPa) (5)	0.106 0.117 0.148	0.196 0.254 0.290	0.200 0.340 0.420		0.200-0.350
$\phi'$ (°) (5)	23 38 25	26 22 23	26 29 28		12-14
<b>Permeabilidad</b>					
k (cm/s)		$1.3 \times 10^{-8}$	$0.73 \times 10^{-8}$		
<b>Presión de hinchamiento</b>					
$s_p$ (Mpa)	0.14	0.156	0.018		4.65

# Laboratory Tests on Sands and Breccias

MATERIAL Campaña de sondeos Laboratorio		ARENAS BIOCLASTICAS (Bucentaur-97) CEDEX (1)		BRECHA ARCILLOSA (Norskald-98) CEDEX (2)		BRECHA ARCILLOSA (Norskald-98) GEOCONTROL (3)		BRECHA ARCILLOSA (Norskald-98) LPEE (4)	
ENSAYO \ Nº de Muestras (5)		6		11		14		26	
Granulometría									
<0.002 mm		1		22		41		37	
<0.06 mm		16		96		82			
<0.08 mm								76	
<2.00 mm		70		100		99		85	
Plasticidad									
LL (%)		No plasticidad		49		45		49	
LP (%)		No plasticidad		25		29		25	
IP (%)		No plasticidad		24		26		24	
Estado natural									
ω (%)		10.1		16.6		17.1		11.9	
γ <sub>d</sub> (kN/m3)		19.1		18.3		18.2		19.8	
γ <sub>s</sub> (kN/m3)		27.6		27.6		27.7			
Composición Química									
CO <sub>3</sub> Ca (%)		58		2.44		2.13			
SO <sub>3</sub> (%)		0.11		0.07					
Parámetros Resistentes									
q <sub>u</sub> (MPa)				0.184					
Corte directo	c' (MPa)	0	(6)	0.059	(8)	0.216	(10)		
	φ' (º)	37.9		20		26			
Tri axial	c' (MPa)	0	(7)	0.149	(9)			0.1	(11)
	φ' (º)	37.8		17				13	
Permeabilidad									
k (cm/s)		4.17 x 10 <sup>-6</sup>		0.94 x 10 <sup>-8</sup>		2.20 x 10 <sup>-8</sup>		1.70 x 10 <sup>-8</sup>	
Presión de hinchamiento									
sp (Mpa)						0.102		0.082	

# TRAFFIC FORECAST (1)

## A. Study Area



Zona de estudio (v. cuadro) 16 países, 39 zonas

Extensión de la zona de estudio, exclusivamente para el tráfico de mercancías. Comprende: • Libia • Egipto • Sudán • Niger+Chad • Mali • Guinea+Guinea-Bisau+Liberia+Sierra Leona • Costa de Marfil • Burkina Fasso • Ghana+Togo+Benín • Nigeria • Camerún

### ZONING OF THE STUDY AREA (in TRATAR.95)

Calificación	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	Centroide
ENCLAVE N.	Gibraltar	1 Gibraltar
	Andalucía Occidental	2 Sevilla
	Andalucía Oriental	3 Granada
	Valencia, Murcia y Baleares	4 Valencia
	Cataluña y Aragón	5 Barcelona
	Madrid, Castilla-La Mancha y Extremadura	6 Madrid
	Castilla-León, Galicia y Asturias	7 León
	País Vasco, Navarra, Cantabria y La Rioja	8 Vitoria
FRANCIA	Limousin, Poitou-Charente, Auvergne y Aquitania	9 Limoges
	Midi-Pyrénées, Languedoc, Roussillon	10 Toulouse
	Rhône-Alpes, Provenza-Costa Azul, Córcega	11 Lyon
	Alsacia-Lorena, Champagne, Borgoña y F. Condado	12 Nancy
	Ile de France, Nord-Pas de Calais y Alta Normandía	13 París
	Bretaña, Baja Normandía, Loire y Centro	14 Rennes
ALEMANIA	Norte	15 Hamburgo
	Centro	16 Düsseldorf
	Sur	17 Munich
ITALIA	Norte	18 Milán
	Sur, Sicilia, Cerdeña	19 Nápoles
BÉLGICA Y LUX.	Bélgica y Luxemburgo	20 Bruselas
PAÍSES BAJOS	Países Bajos	21 Amsterdam
REINO UNIDO	Reino Unido	22 Londres
SUIZA	Suiza	23 Ginebra
PORTUGAL	Portugal	24 Lisboa
AUSTRIA	Austria	25 Viena
ENCLAVE S.	Ceuta	26 Ceuta
	Tánger - Tetuán - Larache	27 Tánger
MARRUECOS	Rabat - Casablanca - Kenitra	28 Casablanca
	Marrakech	29 Marrakech
	Beni Mellal, Kenitra	30 Kenitra
	Meknes, Fez, Taza	32 Fez
	Nador, Ougda (incluye Melilla a estos efectos)	33 Nador
ARGELIA	Occidental	34 Orán
	Central	35 Argel
	Oriental	36 Constantina
TÚNEZ	Túnez	37 Túnez
MAURITANIA	Mauritania	38 Nouakchott
SENEGAMBIA	Senegal y Gambia	39 Dakar



## TRAFFIC FORECAST (2)

### B. Predictions

	Passengers, Mpas/yr				Freight, Mt/yr		
	2015	2025	2035		2015	2025	2035
Study Area	24,59	30,66	38,25		71,02	91,63	103,30
Straits Corridor	9,58	11,78	14,55		6,58	8,42	10,80
Tunnel Link	<b>7,38</b>	<b>9,12</b>	<b>11,32</b>		<b>5,93</b>	<b>7,57</b>	<b>9,68</b>
Deviated	4,58	5,70	7,12		5,09	6,46	8,20
Induced	1,06	1,30	1,59		0,12	0,15	0,19
Created	1,74	2,12	2,61		0,72	0,96	1,29