



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**PROYECTO DE CARACTERIZACION DE LA  
EXPLOSIVIDAD DE LAS CAPAS DE CARBON  
DE LA ZONA DE TERUEL**

1991



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

01107

**PROYECTO DE CARACTERIZACION DE LA  
EXPLOSIVIDAD DE LAS CAPAS DE CARBON  
DE LA ZONA DE TERUEL**

**INDICE**

	Página
RESUMEN .....	2
1. ANTECEDENTES.....	3
2. GEOLOGIA DE LOS LIGNITOS DE TERUEL...	4
2.1. Formación "Escucha".....	5
2.1.1. Miembro inferior.....	5
2.1.2. Miembro medio.....	6
2.1.3. Miembro superior.....	6
2.2. Tectónica y paleografía.....	7
2.3. Características y capas de carbón en las principales zonas mineras.....	8
2.3.1. Zona de Ariño-Andorra....	8
2.3.2. Zona de Estercuel-Gargallo-Cañizar.....	10
2.3.3. Zona de Utrillas-Escucha-Rillo-Aliaga.....	11
2.3.4. Zona de Foz-Calanda.....	12
2.3.5. Zona de Castellote.....	13
2.4. Origen de los carbones de la cuenca de Teruel .....	14
3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	16
3.1. Metodología.....	17
3.1.1. Toma de muestras.....	17
3.1.2. Preparación de muestras..	18
3.1.3. Análisis químicos.....	19
3.1.4. Parámetros de explosividad.....	24
3.1.5. Índices de explosividad..	26
3.2. Selección de explotaciones.....	30
3.3. Mina Oportuna.....	32
3.3.1. Toma de muestras.....	32
3.3.2. Granulometría.....	33
3.3.3. Análisis elemental.....	33
3.3.4. Análisis inmediato.....	34
3.3.5. Sensibilidad a la inflamación.....	35

	Página
3.3.6. Severidad de explosión...	35
3.3.7. Aptitud a la propaga- ción .....	36
3.3.8. Indices de explosividad..	36
3.4. Mina Innominada.....	37
3.4.1. Toma de muestras.....	37
3.4.2. Granulometría.....	38
3.4.3. Análisis elemental.....	38
3.4.4. Análisis inmediato.....	38
3.4.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	39
3.4.6. Severidad de explosión...	39
3.4.7. Aptitud a la propaga- ción.....	40
3.4.8. Indices de explosividad..	40
3.5. Mina Patricia.....	41
3.5.1. Toma de muestras.....	41
3.5.2. Granulometría.....	41
3.5.3. Análisis elemental.....	41
3.5.4. Análisis inmediato.....	42
3.5.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	42
3.5.6. Severidad de explosión...	42
3.5.7. Aptitud a la propaga- ción.....	43
3.5.8. Indices de explosividad..	43
3.6. Mina Cañizara.....	44
3.6.1. Toma de muestras.....	44
3.6.2. Granulometría.....	45
3.6.3. Análisis elemental.....	45
3.6.4. Análisis inmediato.....	45
3.6.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	46
3.6.6. Severidad de explosión...	46
3.6.7. Aptitud a la propaga- ción.....	47
3.6.8. Indices de explosividad..	47
3.7. Mina Santa María.....	48
3.7.1. Toma de muestras.....	48
3.7.2. Granulometría.....	49
3.7.3. Análisis elemental.....	49
3.7.4. Análisis inmediato.....	50
3.7.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	51
3.7.6. Severidad de explosión...	51
3.7.7. Aptitud a la propaga- ción.....	52
3.7.8. Indices de explosividad..	52

3.8. Pozo Pilar.....	53
3.8.1. Toma de muestras.....	53
3.8.2. Granulometría.....	53
3.8.3. Análisis elemental.....	54
3.8.4. Análisis inmediato.....	54
3.8.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	55
3.8.6. Severidad de explosión...	55
3.8.7. Aptitud a la propaga- ción.....	56
3.8.8. Indices de explosividad..	56
3.9. Mina Aún Hay Caso.....	57
3.9.1. Toma de muestras.....	57
3.9.2. Granulometría.....	58
3.9.3. Análisis elemental.....	58
3.9.4. Análisis inmediato.....	59
3.9.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	59
3.9.6. Severidad de explosión...	60
3.9.7. Aptitud a la propaga- ción.....	60
3.9.8. Indices de explosividad..	61
3.10. Mina María y Regina.....	62
3.10.1. Toma de muestras.....	62
3.10.2. Granulometría.....	62
3.10.3. Análisis elemental.....	63
3.10.4. Análisis inmediato.....	63
3.10.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	64
3.10.6. Severidad de explosión..	64
3.10.7. Aptitud a la propaga- ción.....	65
3.10.8. Indices de explosivi- dad.....	65
3.11. Mina Concepción.....	66
3.11.1. Toma de muestras.....	66
3.11.2. Granulometría.....	66
3.11.3. Análisis elemental.....	67
3.11.4. Análisis inmediato.....	67
3.11.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	68
3.11.6. Severidad de explosión..	68
3.11.7. Aptitud a la propaga- ción.....	69
3.11.8. Indices de explosivi- dad.....	69

	Página
3.12. Mina Luisa.....	70
3.12.1. Toma de muestras.....	70
3.12.2. Granulometría.....	70
3.12.3. Análisis elemental.....	71
3.12.4. Análisis inmediato.....	71
3.12.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	72
3.12.6. Severidad de explosión..	72
3.12.7. Aptitud a la propaga- ción.....	73
3.12.8. Indices de explosi- vidad.....	73
3.13. Mina Carmen y Pura.....	74
3.13.1. Toma de muestras.....	74
3.13.2. Granulometría.....	75
3.13.3. Análisis elemental.....	76
3.13.4. Análisis inmediato.....	77
3.13.5. Sensibilidad a la infla- mación.....	78
3.13.6. Severidad de explosión..	79
3.13.7. Aptitud a la propaga- ción.....	80
3.13.8. Indices de explosivi- dad.....	81
4. ANALISIS ESTADISTICO.....	82
4.1. Descripción detallada de los datos .....	83
4.2. Análisis de agrupamientos de casos .....	85
4.3. Agrupamiento de los casos por sus valores medios .....	87
4.4. Análisis discriminante .....	88
4.5. Análisis de la correlación canónica .....	90
5. CONCLUSIONES.....	99
AGRADECIMIENTOS .....	101
BIBLIOGRAFIA .....	102
ANEXOS	
A1. Planos de labores de las explotaciones mineras	
A2. Figuras	

Este estudio ha sido desarrollado por el Laboratorio Oficial Madariaga para el Area de Seguridad Minera del Instituto Tecnológico Geominero de España, en régimen de Convenio con la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid.

En la realización de este trabajo han participado:

Por el I.T.G.E.:

Jesús Gomez de las Heras  
Jefe del Area de Seguridad Minera  
Ingeniero de Minas

Arturo Ochoa Bretón  
Dr.Ingeniero de Minas

Carmen Marchán Sanz  
Ingeniero de Minas

Por el L.O.M.:

Prof.Dr.García Torrent,J.  
E.T.S.I.M.(U.P.M.).

Prof.Dr.Chacón Oreja,E.  
E.T.S.I.M.(U.P.M.)

Ing. Cantalapiedra Fuchs,J.  
Doctorando de la U.P.M.

## RESUMEN

En este trabajo se ha analizado la explosividad del carbón procedente de numerosas capas de la zona de Teruel. Se han estudiado once explotaciones mineras, en las que se han tomado, en total, cien muestras de carbón, cincuenta y ocho de tipo roza y cuarenta y dos naturales.

Las muestras han sido preparadas para los análisis, sometiendo las de roza a un secado al aire, una molienda, un tamizado en el que se ha recogido la fracción menor de 74  $\mu\text{m}$ , y un secado en estufa a 105°C; las naturales se han secado al aire, han sido analizadas granulométricamente y se han tamizado, recogiendo la fracción menor de 500  $\mu\text{m}$ .

Sobre ambos tipos de muestras se han realizado análisis químicos (elemental e inmediato), se han determinado los parámetros de explosividad (temperatura mínima de ignición en capa, temperatura mínima de inflamación en nube, concentración mínima explosiva, energía mínima de inflamación, presión máxima de explosión y velocidad máxima de aumento de presión) y se han llevado a cabo ensayos de propagación de explosión.

Para cada muestra se han calculado cuatro índices de explosividad: la constante característica Kst, el índice de Pittsburgh, el índice canónico y el porcentaje de estéril.

Finalmente, se ha realizado un estudio estadístico de los datos obtenidos, buscando relaciones entre los diversos tipos de variables y entre éstas y las características geológicas de las capas de carbón en las que se han tomado las muestras, atendiendo al origen y la tectónica de las diferentes zonas mineras.

## 1. ANTECEDENTES

Casi todos los materiales combustibles, al alcanzar un tamaño de grano lo suficientemente pequeño, son susceptibles de desarrollar el proceso de combustión bajo condiciones más o menos severamente explosivas. Las explosiones de polvo pueden ocurrir en cualquier proceso en el que se manejen polvos, tales como molienda, secado, transporte, almacenamiento, etc., y pueden afectar a materiales de diferente naturaleza, tales como productos de la industria agrícola y alimenticia, plásticos, detergentes, derivados de la madera, colorantes, polvos metálicos, productos farmacéuticos o polvo de carbón. Este riesgo aumenta con la tendencia actual de ir a instalaciones cada vez más grandes, en las que la producción neta de polvo se ve incrementada, lo que se traduce en un aumento de los espesores de las capas de polvo depositado y también en la concentración de polvo en la nube.

En el caso concreto de la minería del carbón, los nuevos equipos, más potentes y rápidos y de mayor capacidad de arranque, provocan un mayor desprendimiento de gas, debido al rápido avance en las capas de carbón, un aumento en la posibilidad de encontrar fallas imprevistas e inclusiones de mineral duro, una mayor dificultad en proporcionar la ventilación adecuada en el frente de arranque y, por último, una mayor producción de carbón de tamaño más fino.

La consecuencia de ello es que se favorece la creación de atmósferas potencialmente explosivas debido a la presencia de un gas inflamable, el grisú, y de un polvo de material combustible, el carbón.

Los riesgos generados por la presencia de gases inflamables son bien conocidos en la minería española. Son muchos los estudios llevados a cabo y las soluciones prácticas crecen día a día.

Por el contrario, la peligrosidad debida al polvo de carbón es menos conocida, quizá por haber causado un menor número de accidentes o quizá por ser menos intuitiva la idea de la explosión de polvo de carbón. Sin embargo, está demostrado que el polvo de carbón ha sido el causante de gravísimos accidentes y, cuando menos, interviene activamente en explosiones de gases, agravando sus consecuencias.

El comportamiento del polvo combustible es muy diferente del de un gas inflamable. Mientras que éste tiende a difundirse con facilidad y rapidez en el aire ambiente, alcanzando una concentración prácticamente homogénea, el polvo puesto en la atmósfera sufre la acción de las fuerzas gravitatorias de forma mucho más marcada, estando continuamente en movimiento y depositándose algunas partículas, mientras que otras, por efecto de turbulencias o corrientes de aire, son puestas de nuevo en suspensión.

La turbulencia, además, está relacionada con el grado de homogeneidad de la nube de polvo; una cantidad de polvo puede ocupar todo el volumen en el que esté contenido, o bien sólo una parte, de forma que la concentración será menor en el primer caso, pudiendo incluso llegarse a una situación en la que, debido a acumulaciones locales de polvo, se alcance la concentración necesaria para el

comienzo de la reacción (concentración mínima explosiva, CME) en determinadas zonas.

Por otra parte, un gas inflamable dado tiene una composición prácticamente fija (el grisú es, básicamente, metano), mientras que el polvo de un material combustible, incluso un mismo tipo de carbón, presenta variaciones notables en su composición: al pasar de un punto a otro en una misma explotación, con frecuencia varían los porcentajes de materias volátiles, cenizas o humedad, valores que afectan decisivamente al comportamiento del polvo de carbón.

Además, existe una variable que en el caso de gases no tiene lugar, pero que es fundamental en el polvo: su granulometría. Está comprobado que el tamaño de grano tiene una influencia capital en todo el proceso de combustión o explosión de polvo, hasta el extremo de dejar de tener comportamiento explosivo por encima de un cierto tamaño.

Otros factores, tales como el espesor de la capa de polvo depositado o la capacidad de aglomeración del polvo afectan también de forma discriminada a la explosividad de un tipo de polvo.

Finalmente, cuando aparecen conjuntamente polvo combustible y gas inflamable (es decir, en el caso de las denominadas mezclas híbridas) la influencia mutua provoca cambios en el comportamiento esperado. Así, en el caso de polvo de carbón y gas metano (grisú en las minas de carbón) puede producirse una explosión por debajo del límite inferior de explosividad (LIE) del metano y por debajo de la concentración mínima explosiva de ese polvo de carbón. Dicho de otra forma, la concentración mínima explosiva del polvo se reduce cuando éste está presente en una mezcla híbrida.

## **2. GEOLOGIA DE LOS LIGNITOS DE TERUEL**

Las cuencas carboníferas de Teruel se suelen agrupar en dos zonas: Teruel Sur y Teruel Norte-Mequinzenza (Fig. 1 del anexo A2). La primera está situada en el cuadrante nororiental de la provincia de Teruel, limitando al Norte con la Zona Teruel Norte-Mequinzenza, al Este con la provincia de Tarragona y al Sur con el límite de la provincia de Castellón y una línea arbitraria que va hasta Perales de Alfambra, continuando como límite Oeste desde ésta última localidad hasta el pueblo de Cosa. Dentro de estos límites se localizan las cuencas lignitíferas de Utrillas-Escucha-Rillo-Aliaga, Estercuel-Gargallo-Cañizar, Castellote, Belmonte y Beceite.

La zona Teruel Norte-Mequinzenza, de forma alargada, se extiende en dirección Suroeste-Noreste sobre la parte Norte de la provincia de Teruel, Sureste de la de Zaragoza, Sur de Huesca y Lérida y una pequeña extensión del Noroeste de Tarragona. Limita al Sur con la zona Teruel Sur y sus restantes límites se fijan, al Oeste, por el curso del río Martín hasta Escatrón y la línea que une esta última localidad con Bujaraloz, al Norte, aproximadamente con el paralelo de Bujaraloz y al Este por una línea que une La Ginebrosa con Ribarroja y continúa hacia el Norte según el meridiano de esta última localidad. Dentro de estos límites se localizan las

cuencas ligníferas de Ariño-Andorra, Foz-Calanda y Mequinenza.

Los carbones explotados en la provincia de Teruel se ubican en la denominada formación "Escucha" o formación "Lignitos de Escucha". En función de sus relaciones laterales y verticales con otras formaciones, aquella se subdivide en tres miembros, cada uno con un significado sedimentológico.

La investigación y desarrollo de labores, propiciados por la intensa actividad minera que se desarrolla en esta provincia, permiten conocer mejor las características generales y variaciones puntuales entre distintas áreas de dicha formación y de las capas de carbón que la integran, estableciendo relaciones morfológicas y genéticas, muy útiles para las explotaciones mineras.

### **2.1. Formación "Escucha"**

La formación "Escucha" es una serie predominantemente detrítica de transición, que representa el último término regresivo del Cretácico Inferior, de edad Aptiense Superior - Albiense Inferior. En dicha formación está ubicada la totalidad de los lignitos explotados en la provincia de Teruel.

Tiene un carácter extensivo sobre las calizas con toucasia en la zona de Utrillas-Aliaga, calizas con toucasia y orbitolinas en Castellote y calizas margosas con ostreidos de ambientes más restringidos en Oliete-Ariño del Aptiense (Beduliense, Gargasiense); ocasionalmente se deposita sobre términos más antiguos del Cretácico y Jurásico; por ejemplo, en mina Oportuna (Alloza), mina del "Corredor" (Alcorisa-Berge) y corta "Foz-Calanda".

El contacto con el substrato suele ser una ruptura sedimentaria que viene señalada por el cambio sin transición entre las calizas y la formación que a veces termina con un encostramiento ferruginoso.

Esta formación se divide en 3 miembros de muro a techo.

#### **2.1.1. Miembro inferior**

Constituido por arcillas pardas y grises carbonosas, areniscas calcáreas, calizas arenosas y bioclásticas de colores grises, pardas y herrumbrosas, limolitas y algunas arenas micáceas. Se encuentran niveles de lignito en las siguientes capas:

- Capas 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> de Utrillas-Rillo
- Capas P, Q, R y S de Ariño-Alloza
- Capas A, B, C, D, E y F de Foz-Calanda
- Capas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y carbonero de 7<sup>a</sup> en Castellote.

Se encuentran ostreidos, lamelibranquios, gasterópodos ("Glauconia Lujani" es el más frecuente), algas y microfaunas de aguas salobres, así como bioturbación intensa en general. Estructuras de corriente, de oscilación y acreción lateral.

Todos estos hechos permiten atribuir a este miembro una sedimentación con un predominio de ambientes mareales, con episodios palustres (depósitos carbonosos), y ambientes deltaicos con más o menos aportes fluviales.

La potencia de este miembro es muy variable, desde 300 m en Utrillas, hasta nula en algunos puntos cerca de Rillo, Cañizar, etc. Además presenta una heterogeneidad grande en su composición litológica y en las capas de carbón de unas áreas a otras.

### **2.1.2. Miembro medio**

Litológicamente está compuesto por arcillas y limos ricos en carbón, con frecuencia alternantes en láminas milimétricas. Se observan capas de carbón con niveles de raíces asociados y arenas de grano fino de geometría laminar o canaliforme. Hay abundancia de restos vegetales y algún nivel calizo con estructuras de "cone in cone".

Estos hechos y otras estructuras sedimentarias propias, indican un medio de depósito de colmatación de marismas y llanura deltáica con episodios palustres.

Este miembro es el más homogéneo de los tres, en cuanto a menor variación de potencia (70 a 100 m), en general, y mayor homogeneidad de composición en todas las subcuencas.

Las capas principales de carbón son:

- Capa 1ª y 2ª de Utrillas-Rillo-Pancrudo.
- Capas L de Ariño-Alloza.
- Capas de explotaciones antiguas en Oliete-Alcaine.
- Capas G y H de Foz-Calanda.
- Capas 7ª y 8ª de Castellote.

Existen lechos carbonosos de diversa importancia en casi todos los sitios donde está presente esta formación en la provincia minera.

### **2.1.3. Miembro superior**

Formado por limos y arenas de colores claros, con oxidaciones ferruginosas abundantes. Los niveles de carbón son raros y están muy localizados, no siendo en ningún caso explotables en la actualidad por su calidad y extensión lateral. Se encuentran pequeños niveles calcáreos nodulosos o margosos atribuibles a procesos edáficos. En conjunto, recuerdan un medio fluvial meandriforme en el que se encuentran secuencias típicas del mismo.

Los tres miembros se superponen en continuidad sedimentaria, indentándose lateralmente de forma que, según una isocrona se pasa de SE a NW de un miembro inferior a otro más superior. La sucesión total de la "Formación Escucha" corresponde, por tanto, a un fenómeno de progradación costera.

Encima y discordantemente, en todos los casos se sitúa la formación "Arenas de Utrillas" constituida por arenas y lutitas versicolores de ambientes continentales fluviales totalmente improductivos debido, entre otros factores, a una climatología árida durante su depósito.

## **2.2. Tectónica y paleografía**

Durante el Jurásico superior, comienza una inestabilidad general en el área de sedimentación estudiada, como consecuencia de movimientos epirogénicos (fase neokimmérica) en la que se activan antiguas estructuras y direcciones tectónicas de la orogenia hercínica. Esta inestabilidad culmina durante el depósito de la "Formación Escucha", con la individualización de cubetas de sedimentación separadas por umbrales emergidos o no, junto a un desplazamiento de las aguas marinas hacia el E y SE (cuenca del Maestrazgo), depositándose sedimentos ferruginosos y posteriormente depósitos carbonosos (fase aústrica).

Debido a esta tectónica de bloques con subsidencias diferenciales y a la irregularidad en la cantidad de aportes de origen continental, hay una gran variación en las series locales con importantes cambios laterales de facies, frecuentes acuñamientos y cambios bruscos de potencias. Estos hechos justifican la geometría, número de capas y disposición de las mismas dentro de cada cubeta.

Antes del Aptiense ya se diferenciaban, en la cuenca lignífera turolense, al menos tres grandes áreas de sedimentación:

- Cubeta de Oliete-Gargallo
- Area de Escucha-Utrillas-Rillo
- Area de Castellote, que comunica con el Maestrazgo

además de otras cubetas menores como la de Foz-Calanda.

La cubeta Oliete-Gargallo es la más septentrional, de influencia continental más acentuada, separada de la cubeta de Utrillas-Escucha por el macizo Paleozoico de Montalbán y el umbral Ejulve-Molinos. En conjunto, es la más homogénea, con importantes capas de carbón en el miembro inferior, Ariño-Andorra, etc. y capas explotables de menor calidad y potencia en el miembro medio (Estercuel, capas L, Ariño-Andorra, etc.). El miembro superior contiene alguna capa carbonosa, no explotable.

La cubeta Escucha-Utrillas es el área de mayor extensión, con una sedimentación fuertemente subsidente durante el Cretácico inferior, con un eje NW-SE inflexionado según la línea Rillo-Utrillas. El miembro inferior posee una irregularidad manifiesta desde los 300 m de potencia en Utrillas, a partir de donde disminuye su potencia en cualquier dirección, pudiendo llegar a estar ausente en diversos puntos, por ejemplo en Parras de Martín y otros. En sus niveles carbonosos se ha realizado una gran labor minera fundamentalmente en el área de mayor potencia de la serie (zona de Utrillas-Escucha). El miembro medio, más homogéneo que el anterior, posee niveles de lignito que, en general, se extienden por toda el área sedimentaria, aunque en muchos puntos

son menos importantes que los anteriores. El miembro superior sigue siendo no explotable.

El área de Castellote, separada de la cubeta de Calanda por el umbral de Más de las Matas y del resto del Maestrazgo por el umbral no emergido de Olorón, tiene su mayor potencia en el sector Santolea-Bordón. La influencia marina está más marcada que en el resto de las zonas y el desarrollo de capas explotables de carbón se sitúa fundamentalmente en el miembro inferior.

La cubeta de Foz-Calanda, de extensión mucho más reducida, llega a tener hasta 250 m de potencia, reduciéndose rápidamente hacia el Norte y de forma más suave hacia el S y E. Reposo sobre terrenos jurásicos y, durante el depósito del miembro inferior, destacan episodios de depósitos de mayor influencia continental y lacustre, coincidiendo con los depósitos de las capas E y F. Como en casos anteriores, el miembro superior es improductivo.

En general, las potencias de la Formación Escucha, dentro de cada cubeta, varían según una geometría asimétrica siguiendo direcciones NW-SE, coincidentes con antiguas fracturas hercínicas que controlarían la subsidencia de las cubetas. Estas, a su vez, estarían separadas unas de otras por umbrales de direcciones NE-SW, correspondientes a otro juego de fracturas de zócalo, precursor de los Catalámides.

Durante las etapas de compresión terciarias de la orogenia alpina, estos materiales se deforman por plegamientos de direcciones ibéricas seguidos de basculamiento del zócalo hacia el N, con despegue de cobertera, dando lugar a frentes de cabalgamientos de dirección E-W y alabeos y deformaciones de los ejes preexistentes, que de nuevo vuelven a deformarse según direcciones de fracturas de dirección catalámide. Los resultados globales de estos movimientos son:

- desplazamiento hacia el N del lugar original donde se formó el carbón
- buzamientos que oscilan entre verticales e invertidos, fundamentalmente en los flancos N de anticlinales
- buzamientos más suaves en los flancos S, donde se realiza la mayor actividad minera.

### **2.3. Características y capas de carbón en las principales zonas mineras**

#### **2.3.1. Zona Ariño-Andorra**

Ocupa la parte septentrional de la cubeta de Oliete, de marcada influencia detritica, fundamentalmente en los miembros inferiores, y con abundantes capas de carbón con la mayor potencia y calidad de la provincia.

El miembro inferior, de unos 50 m de potencia media, aunque puede llegar hasta los 90 m, contiene las principales capas de esta cuenca: "S", "R", "Q" y "P" de muro a techo, intercaladas entre niveles de arcillas grises, margosas y arenosas, areniscas calcáreas y algún nivel arenoso.

El miembro medio, compuesto por arcillas limosas y arenas con laminaciones, abundantes raíces y pequeños lechos carbonosos y costras ferruginosas, contiene un conjunto de hasta 9 capas lenticulares, denominadas capas "L", que se explotan a cielo abierto, de potencias que oscilan entre 30 cm y 1 m, y que, ocasionalmente, pueden alcanzar 2 a 3 m.

El miembro superior, arcilloso-arenoso, puede presentar algún nivel carbonoso de poca entidad, totalmente inexplorable.

Esta zona forma un flanco S del anticlinal Sierra de Arcos, con buzamientos entre 20° y 5° hacia el S, donde llega a formar un sinclinal.

La actividad minera, en interior, se ha centrado en las capas R y P siendo el resto explotadas muy localmente o conjuntamente con algunas de las anteriores. Sólo en cielo abierto se han beneficiado todas ellas.

La capa "R" se explota actualmente en las minas "María" y "Oportuna". En mina "María" tiene un espesor de 3 a 10 metros de un lignito de color negro con raya parda, abundante azabache y pirita diseminada y en nódulos. Es un carbón compacto, que se rompe por discontinuidades subparalelas y subverticales al plano de estratificación, dando un producto granulado de tendencia cúbica, con un porcentaje de alrededor del 40% de granos de tamaño inferior a 8 mm.

Aunque la capa no suele tener interestériles en las áreas explotadas actualmente, cuando éstos aparecen tienen una naturaleza arcillosa (arcillas negras carbonosas), compactas con nódulos de hasta 1 cm de pirita, que por meteorización se hacen deleznales.

Los techos están constituidos por areniscas calcáreas en bancos potentes con muy escasa fisuración. En profundidad esta arenisca tiende a cambiar a una argilita gris oscura masiva, que por meteorización se hace lajada. Los muros son arcillas plásticas, hinchables en presencia de humedad.

La capa "P" tiene una potencia comprendida entre 6 y 12 m en mina "Santa María". Está formada por bancos de carbón negro con raya parda y fisuraciones subparalelas y perpendiculares a la estratificación. Contiene piritas diseminadas y en nódulos.

Por fracturación da bloques de varios decímetros, pseudocúbicos, con una gran proporción de finos, en general, mayor del 50%. Son frecuentes pequeñas intercalaciones de lechos arcillosos de aspecto terroso y pulverulento, ricos en pirita, que llegan a concentrarse en lechos lenticulares de varios centímetros de espesor. Esta capa se meteoriza más rápidamente que la anterior.

Los techos están constituidos por potentes bancos de arenas, que forman los primeros niveles del miembro medio, de geometría canaliforme con presencia de agua, que transmiten con facilidad a las explotaciones, pudiendo ocasionar graves problemas en ellas.

Es frecuente encontrar en el muro de estas arenas, inmediatamente encima del carbón, lechos de pirita o de arenas con cemento pirítico de 10 cm de potencia máxima. A muros de capa existen bancos de arcilla y argilitas arenosas con muchos restos vegetales.

La capa "L" está constituida por un conjunto de capas lenticulares compuestas por lechos centimétricos de lignito interestratificado con otros lechos más arcillosos, sin que la separación pueda realizarse por medios físicos. Los lechos de pirita son muy abundantes al igual que el azabache. En conjunto, el aspecto de los lignitos es terroso y resultan muy deleznableles al poco tiempo de estar expuestos al aire. Las calidades son, en general, bajas (del orden de 2.500 kcal/kg) por el alto contenido en arcillas.

Los hastiales, tanto de muro como de techo, son arcillas arenosas con restos vegetales piritizados con tendencias más arenosas a techo que a muro. Estas capas sólo se han explotado a cielo abierto por su potencia individual, separación entre capas, carácter lenticular y calidades.

### **2.3.2. Zona de Estercuel-Gargallo-Cañizar**

Ocupa la zona SW de la Cubeta de Oliete, aunque la "Formación Escucha" no está tan desarrollada como en Ariño, se reconocen los tres miembros.

El miembro inferior tiene una potencia comprendida entre 5 y 30 m, de carácter mucho más detrítico y de influencia más continental que en el resto de las zonas, con muy pocos niveles carbonosos no explotables.

El miembro medio constituido por 60-70 m de arcillas, arcillas arenosas y arenas contiene varias capas de lignito.

Se distinguen 5 capas de lignito con muros arcillosos y abundantes raíces piritizadas; los techos son arcillas arenosas con desarrollo de paleosuelos y abundante pirita.

Los niveles centrales (capa 3 y 4 principalmente), por su proximidad, potencia y calidad se explotan en minería de interior (minas Cañizara y Luisa y con anterioridad en Rómuli, Z, Eloisa, Mi Viña, Gonzalo y otras), el resto de los niveles, junto con los ya mencionados, se explotan por minería a cielo abierto.

El miembro superior, que tiene una potencia comprendida entre 40 y 100 m, es totalmente improductivo y, como consecuencia de tener abundantes niveles arenosos en la base, aporta con cierta facilidad cantidades importantes de agua a las explotaciones.

La zona está poco tectonizada, en general, y los buzamientos medios oscilan entre 10° y 15°.

Todas las características de las capas de este entorno son bastante similares en cuanto a hastiales de techo y muro; existen variaciones en el contenido en cenizas y por consiguiente en el PCS, friabilidad, etc.

En mina Cañizara se explotan dos capas separadas por un interestéril arcilloso, rico en raíces piritizadas. Las capas son de un aspecto terroso y blando, con nódulos de pirita que suelen concentrarse en lechos de varios centímetros, con una geometría lenticular de 1 a 2 m y azabache que se cuartea en breve tiempo de exposición al aire. Por exposición al aire se meteoriza dando un material pulverulento con pequeños bloques de argilita. En presencia de agua también la argilita se hace deleznable.

Estas capas están intercaladas entre arcillas limosas y arcillas poco arenosas a muro y arcillas muy arenosas hasta arenas con cemento ferruginoso a techo, con abundantes nódulos de pirita y marcasita ("costras", según la denominación de los mineros de la zona).

### 2.3.3. Zona Utrillas-Escucha-Rillo-Aliaga

Constituye la cubeta más importante de sedimentación Aptiense-Albiense. En ella se definen las dos formaciones "Escucha" y "Utrillas".

El miembro inferior tiene su máximo desarrollo al E del "Pozo Pilar", llegando a tener 330 m. Al alejarse en cualquier dirección de las áreas Escucha-Utrillas, se estrecha, llegando incluso a desaparecer. Hay irregularidades en el desarrollo de esta potencia debidas a inestabilidades de fondo durante el depósito, en función de zonas de umbral y surco.

Las capas 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup> se agrupan en unos 10 a 15 m de serie, en los que predominan arcillas grises oscuras. Entre 30 y 50 m, a techo de capa 4<sup>a</sup> y entre areniscas, arenas y caliza, se encuentra la capa 3<sup>a</sup>.

Las potencias de las capas son muy variables. En Utrillas, la media es:

Capa 3<sup>a</sup> - 0,90 m  
 Capa 4<sup>a</sup> - 1,60 m  
 Capa 5<sup>a</sup> - 1,50 m  
 Capa 6<sup>a</sup> - 2,50 m

disminuyendo en el resto de los sitios hasta desaparecer. En Rillo no sobrepasan los 60 a 70 cm las más potentes. En Palomar de Arroyos están alrededor de 1 m. En Pancrudo hay 2 capas de 1,50 y 1,20 m

En el miembro medio, de potencia del orden de 50 a 70 cm, aparecen las capas 1<sup>a</sup> y 2<sup>a</sup> de 1,5 m de potencia media y diversos carboneros. Estas capas suelen mantenerse con cierta regularidad entre Portalrubio y Palomar y Portalrrubio-Rillo, zonas N y W. En Aliaga, Galve, etc. las potencias disminuyen.

El miembro superior es improductivo.

Los buzamientos observados en las zonas explotadas son del orden de 50° a 80°, en general, y el valor más frecuente es 60°.

La sucesión de las capas está formada por seis capas de carbón denominadas 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª y 6ª, siguiendo un criterio de numeración de techo a muro del yacimiento. Cinco de estas capas son explotables, no siéndolo la 5ª, debido a su escasa potencia (0,50 m), su irregularidad y su proximidad a la capa 4ª. El promedio de la potencia del paquete productivo, estratos intermedios y capas, es de unos 90 cm.

La base del paquete explotable está constituida por una caliza del Aptense, sobre la que descansan una serie de pizarras que constituyen el muro próximo de la capa 6ª. En general, todas las capas tienen como hastiales bancos de pizarras, más o menos carbonosas y fuertes, de potencias variables según las zonas.

Las potencias de las capas explotables oscilan entre los siguientes valores:

Capa 6ª .....	2,30 a 3,50 m
Capa 4ª .....	1,20 a 2,00 m
Capa 3ª .....	0,90 a 1,20 m
Capa 2ª .....	1,30 a 2,50 m
Capa 1ª .....	1,00 a 1,60 m

Sus pendientes son las siguientes:

Zona Occidental .....	15 a 18°
Zona Central .....	10 a 21°
Zona Oriental .....	7 a 45°

Estas pendientes se hallan distribuidas de la forma que sigue:

0 - 35° .....	94%
35 - 60° .....	6%
60 - 90° .....	0%

lo cual permite una mecanización casi completa de las explotaciones.

Las corridas medias útiles de explotación, sin saltos superiores a la potencia de la capa, varían entre 300 y 900 m, según las zonas.

#### 2.3.4. Zona de Foz-Calanda

Forma una cubeta pequeña, de unos 5.500 m de corrida por 700 m de anchura como mínimo, desapareciendo los afloramientos por estar cabalgados por terrenos jurásicos al S.

El miembro inferior tiene una potencia de unos 115 m y está constituido por arcillas y margas grises, con algún nivel calcáreo brechoide con fauna marina salobre y algún nivel de cabeza de oncolitos entre la capa A y a techos abundan los paquetes margo-limosos, gris-pardos con intercalaciones y fauna salobre.

Se diferencian seis capas; las tres primeras, A, B y C, son muy lenticulares, de mala calidad, en general (2.000 - 2.500 kcal/kg), y potencia máxima de 1 m; las otras tres capas, D, E y F presentan mayor continuidad y calidad, son de color pardo-negro y sobre ellas se han centrado las explotaciones antiguas de interior y suponen el mayor tonelaje en corta.

El miembro medio, de potencia próxima a los 100 m, está constituido por arcillas y arcillas limosas con dos lechos de carbón, diferenciando las capas G y H.

El miembro superior, improductivo y arcilloso, tiene una potencia de 30 m.

La estructura de esta cubeta es un sinclinal, donde el flanco S está cabalgado por jurásicos y en el flanco N se ha desarrollado y se desarrolla la mayor actividad minera. Los buzamientos medios en esta área oscilan entre los 20° y 40°.

Aunque en cielo abierto se han beneficiado con distinta intensidad todas las capas, sólo las denominadas E y F han sido explotadas en interior por diversos planos de las concesiones Carmen y Pura y suponen el 70% del volumen extraído en la corta de Foz-Calanda.

Las capas E y F pueden alcanzar hasta 4 m de potencia máxima, siendo la potencia media explotada de 2,5 m. Estas capas están separadas por unas arcillas grises hinchables y muy plásticas, de un espesor comprendido entre 1 y 14 metros. Los hastiales de techo y muro, igualmente, tienen unos componentes arcillosos muy plásticos, similares a los anteriores.

El carbón es de color pardo-negro, muy compacto, con pocas fisuraciones, bastante resistente a la meteorización y más duro que el resto de los carbones estudiados en la provincia de Teruel. Su aspecto externo se parece al azabache, pero en color mate y se fractura en bloques pseudocúbicos, en general, del orden de un decímetro. La proporción de finos apreciada en las labores mineras es muy baja, en general < 20%. El contenido en azufre es del 3 - 4%, muy bajo para los carbones turolenses.

### **2.3.5. Zona de Castellote**

Forma la cubeta más Sur-Oriental de la provincia de Teruel, con presencia de lignitos; comunica con las cuencas del Maestrazgo en Castellón.

En ella se han efectuado diversas labores mineras ya cerradas, María Luisa, Palestina y Castellote, habiendo cesado recientemente la actividad en mina Patricia y continuando en corta Elvira.

La "Formación Escucha" tiene en mina Elvira una potencia aproximada de 170 m y se distinguen tres miembros.

El miembro inferior (70 cm aproximadamente) es un tramo de arcillas grises con intercalaciones de carbón (capas 1 a 6). De muro a techo, en los primeros metros, las capas 1 y 2 forman un conjunto de 1,2 m, las capas 3 y 4 forman otro conjunto de

1,70 m y entre ambas hay arcillas grises y pardas con alternancia de niveles calizos decimétricos con ostréidos, lamelibranquios y gasterópodos. Encima, entre niveles arcillosos y arenosos, están las capas 5 y 6, más separadas, con potencias generalmente menores de 1 metro.

En el miembro medio, de naturaleza arenosa y arcillosa cerca de su base, existen las capas 7 y 8, siendo esta última la más importante, que llega a tener 1,3 m de potencia.

El miembro superior está peor presentado (unos 15 m) y es totalmente improductivo, como en otras áreas estudiadas.

La única capa explotable del yacimiento está formada por tres venas de potencia variable, separadas por intercalados de arcilla carbonosa, que en conjunto alcanzan unos 3 ó 3,5 m. El techo está formado por una capa de poca potencia de arcilla muy carbonosa, que se cae con la capa al extraer el carbón, quedando en la explotación como techo una pizarra muy arenosa, que se mantiene bastante bien. El muro, formado por pizarras muy arcillosas y areniscas de grano suelto con algo de agua, presenta bastante hinchamiento. La pendiente media de las capas es de 40° a 60°.

#### **2.4. Origen de los carbones de la cuenca de Teruel**

Todos los trabajos de sedimentología coinciden en asignar a la "Formación Escucha" un ambiente de depósito de tipo deltaico, con influencia de mareas. De acuerdo con esto, el carbón se acumula en alguno de estos subambientes que se describen a continuación.

Asociados a la llanura deltaica superior hay depósitos de secuencias de inundación, con poca influencia marina y gran desarrollo de vegetales, debido a los aportes de agua dulce procedente del continente, junto con lutitas y arenas finas.

Asociadas a la llanura deltaica inferior, existen las secuencias de colmatación de marismas, con ciclos irregulares de inundación, tanto por aportes continentales como marinos y acumulaciones vegetales.

En las primeras, de menor influencia marina, pueden encontrarse algunos restos de troncos (azabache); en general, tienen mayor contenido en cenizas; algunos restos de cutinas y resinas; la relación caolinita/illita es mayor; también suelen tener mayor extensión lateral con potencias más homogéneas; los muros de capa suelen ser de arcilla plástica con señales de edafización y están formados en bordes de lagunas; son frecuentes las intercalaciones arcillosas en láminas ricas en  $S_2Fe$ .

Los carbones asociados a cinturones de marismas no suelen presentar restos de plantas superiores, al menos con la misma frecuencia que en las anteriores; suelen tener menos cenizas e intercalaciones arcillosas, debido a aportes de ferrígenos durante el período de depósito; la illita es más abundante; la heterogeneidad en la potencia suele ser mayor y su extensión lateral, menor o más arrosariada; son más ricos en fusinita que los anteriores y puede haber concentraciones de  $S_2Fe$  a techos. En los estériles próximos son frecuentes los niveles calcáreos.

Prácticamente todos los lignitos de Teruel se han formado en estos subambientes, siendo los del miembro medio de la formación asociables a la llanura de inundación superior, junto con algunas capas del miembro inferior (fundamentalmente los más altos, capa P de Ariño, D, E y F de Calanda, 3ª de Utrillas, etc.). En otros subambientes distintos a los mencionados, se ha podido acumular una pequeña fracción de estos lignitos, pero casi siempre resultan no explotables o se encuentran en forma alóctona.

En todos predomina el carácter húmico de los mismos, con la excepción de las capas E y F de Calanda, junto a otros de menor entidad, en que tienen un marcado carácter sapropélico.

Los procesos de carbonización han sido parecidos y marcados por las características de cada cuenca: subsidencia, diagénesis debida a cantidad de depósitos acumulados encima y tectónica posterior, naturaleza primaria vegetal, capacidad de eliminación de agua y otras sustancias por existencia de niveles impermeables próximos, etc. adquiriendo las características en que los encontramos actualmente, que corresponderían al rango entre lignito negro hasta carbones subbituminosos, según las clasificaciones.

### 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Las actividades del proyecto comenzaron en Octubre de 1.988. Desde esa fecha se han venido desarrollando, de forma continua, una serie de tareas, que van desde la toma de muestras hasta el cálculo de los índices de explosividad. Antes de detallar estas actividades, es importante centrar las ideas sobre el planteamiento del estudio.

La primera labor que se realizó consistió en un estudio de la zona carbonífera, revisando todas las explotaciones y delimitando las capas de carbón explotadas. Sobre dichas capas se programó una toma masiva de muestras para obtener la mayor información posible. Esta tarea se realizó en colaboración con la Sección de Minas del Servicio Provincial de Industria y Energía de Teruel de la Comunidad Autónoma de Aragón. Con su colaboración se analizaron las características generales de diversas explotaciones mineras de Teruel y se seleccionaron las más interesantes para el estudio de la explosividad de las distintas capas de carbón de la zona.

La planificación realizada se puede resumir en la siguiente tabla, en la que se concreta el plan de trabajo previsto al iniciar el proyecto.

<u>Nº</u>	<u>Mina</u>	<u>Empresa</u>	<u>Localización</u>	<u>Capas</u>	<u>Muestras</u>	<u>Fecha</u>
1	Oportuna	ENDESA	Andorra	P	10	Dic/88
2	Innominada	ENDESA	Andorra-Ariño	P,R	8	Feb/89
3	María	A. Minero	Ariño	P,R	8	Abr/89
4	Sta. María	SAMCA	Ariño	P,R	8	Abr/89
5	Patricia	Lig. Cas.	Castellote	Unica	10	Feb/89
6	La Cañizara	SAMCA	Cañizar del O.	Unica	10	Mar/90
7	Luisa	C.G.M.T.	Estercuel	Unica	8	Mar/90
8	La Serrana	M. Palomar	Palomar de A.	1ª,2ª	10	Mar/90
9	Pozo Pilar	MFU	Escucha-Utri.	1ª,4ª,6ª	10	May/90
10	Aún Hay Caso	M. Escucha	Escucha	4ª,6ª	10	May/90
11	Concepción	M.Martín-A.	Escucha	4ª,6ª	8	May/90

Realizada la toma de muestras, éstas se sometieron a los análisis químicos característicos y se determinaron los parámetros de explosividad, incluyendo ensayos de propagación. Posteriormente, se han determinado los diferentes índices de explosividad y se ha llevado a cabo un análisis estadístico de los datos obtenidos.

Seguidamente se detallan estas tareas.

### **3.1. Metodología**

Para la realización de los trabajos aquí presentados se han tenido en cuenta las siguientes normas UNE:

- Propuesta de norma UNE 22.330 "Explosividad de polvo de carbón. Método de ensayo para la determinación de la temperatura mínima de ignición en capa de polvos combustibles" (JUNIO/1991).
- Norma UNE 22.331 "Explosividad de polvo de carbón. Método para la toma de muestras" (MAYO/1990).
- Norma UNE 22.333 "Explosividad de polvo de carbón. Método de preparación y ensayos previos de muestras" (MAYO/1990).
- Norma UNE 22.334 "Explosividad de polvo de carbón. Método de ensayo para la determinación de la temperatura mínima de inflamación en nube" (MAYO/1990).
- Propuesta de norma UNE 22.335 "Explosividad de polvo de carbón. Método de ensayo para la determinación de la concentración mínima explosiva" (JUNIO/1991)
- Proyecto de norma UNE 22.336 "Explosividad de polvo de carbón. Método de ensayo para la determinación de la energía mínima de inflamación" (20/SEPT/90).
- Proyecto de norma UNE 22.338 "Explosividad de polvo de carbón. Método de ensayo para la determinación de la presión y la velocidad de aumento de presión en la cámara esférica de 20 litros" (20/SEPT/90).

#### **3.1.1. Toma de muestras**

Con el fin de conocer mejor el comportamiento del carbón, se tomaron muestras de dos tipos. El primero, denominado muestra de roza, corresponde a una muestra de carbón tomada en el frente de arranque de una galería o taller; estas muestras tomadas en la capa sirven para conocer la calidad del propio carbón en cuanto a sus propiedades relativas al riesgo de explosión. Sin embargo, es también fundamental conocer el estado real bajo el que aparece el polvo de carbón en la mina, ya que durante la realización de diversas

operaciones, como son, típicamente, las incluídas en el arranque y en el transporte del carbón, se producen grandes cantidades de material muy fino, que tiende a acumularse en zonas características (puntos de transferencia de cintas, tolvas, planos inclinados, zonas de menor velocidad del aire, etc.). Ese polvo de carbón depositado sufre, con frecuencia, ensuciamiento por aporte de estériles, envejecimiento por contacto con la atmósfera y captación de humedad, tanto del ambiente como de aportes directos de agua. Puede suceder, por tanto, que un carbón claramente inflamable se presente bajo condiciones tales que sea incapaz de propagar una explosión anteriormente iniciada. Por ello es necesario estudiar en cada mina ese polvo de carbón depositado, cuyas muestras se denominan de tipo natural.

De las cien muestras tomadas, 58 corresponden al tipo "roza" y 42 son "naturales".

### **3.1.2. Preparación de muestras**

Las muestras de roza se someten a un secado al aire, hasta equilibrio con el ambiente. Posteriormente se trituran, en dos etapas, se homogenizan y se tamizan, recogiendo la fracción menor de  $74 \mu\text{m}$ . Finalmente, esta fracción se seca en estufa a  $105^\circ\text{C}$  durante una hora, con lo que se obtiene la muestra representativa preparada para los análisis y determinaciones posteriores.

Las muestras naturales no son molidas ni secadas en estufa. Para ajustarse a las condiciones requeridas por los ensayos, simplemente se secan al aire y se separan los gruesos (fracción  $> 500 \mu\text{m}$ ).

Al ser el tamaño de grano una variable muy importante en la determinación de la explosividad, debe controlarse o medirse su influencia en los resultados.

El procedimiento admitido como más idóneo contempla el bloqueo de esta variable en las muestras de tipo roza, de forma que se elimina su influencia sobre los resultados de los ensayos correspondientes a distintas explotaciones. Por el contrario, las muestras naturales, por su propia definición, deben contener información sobre el tamaño de grano del polvo de carbón depositado. Al mantener la muestra natural con sus tamaños originales (sóamente se separan los gruesos por motivos operativos de los equipos), la variable "granulometría" queda implícita en la explosividad de las muestras (al igual que la humedad o el ensuciamiento).

La determinación de los contenidos en cenizas y humedad permiten valorar la importancia de aportes externos a las muestras naturales. Para valorar la importancia del tamaño de grano, como variable independiente de las anteriores, es conveniente realizar una determinación granulométrica de la muestra.

### 3.1.3. Análisis químicos

A efectos prácticos, se puede considerar que el carbón es una mezcla entre una fracción mineral y una fracción orgánica. Ambas fracciones son, a su vez, mezclas complejas de otros elementos constitutivos más primarios: los minerales, que constituyen la fracción mineral, y los macerales, que constituyen la fracción orgánica.

Los minerales responden a una formulación química bastante precisa, mientras que, en el caso de los macerales, dicha formulación es muy variable y compleja lo que, en principio, dificultará su estudio. Los macerales derivan de los distintos tipos de tejido que constituyen la materia orgánica inicial y su composición evoluciona con el tiempo.

En general, dentro de una misma capa, la composición de las fracciones mineral y orgánica suele mantenerse bastante constante, llevándose la máxima variabilidad el porcentaje de cada fracción en la mezcla final (el carbón).

Por lo tanto, si lo que se quiere es caracterizar una cualidad propia de la fracción orgánica, como el riesgo de explosividad de una capa de carbón, lo más conveniente será caracterizar:

- a) la materia orgánica que, presumiblemente, será muy poco variable dentro de una misma capa, y
- b) cómo le afectan distintos porcentajes de adición de la fracción mineral, que sí va a ser variable dentro de la capa e, incluso, con el método de explotación.

La caracterización química de un carbón implica el establecimiento de relaciones que, a partir del resultado de análisis químicos, permiten predecir sus características tecnológicas, de seguridad, ambientales, etc., con un grado de precisión suficiente.

La mayoría de las propiedades tecnológicas de la materia orgánica del carbón (lo que se podría denominar carbón puro) dependen básicamente de su rango, pero como en el carbón interviene también la fracción mineral, con sus características propias, la proporción de ésta va a influir, igualmente, en las propiedades del carbón.

Por lo tanto, los análisis de más éxito en la caracterización del carbón tienen su principal virtud en el hecho de que suministran información sobre el rango y el porcentaje de la fracción mineral.

Los análisis más habituales del carbón se realizan agrupados en dos bloques que se conocen como análisis inmediato y análisis elemental.

No se trata aquí de exponer la forma de realización de los distintos análisis, en su mayoría normalizada, sino de cómo utilizar sus resultados para la caracterización del carbón.

## a) ELEMENTAL

### a.1) Carbono e Hidrógeno

La determinación, únicamente, del contenido en Carbono e Hidrógeno es lo que se conoce como análisis elemental.

Permite calcular la relación atómica H/C. A un mismo valor de H/C le pueden corresponder carbones muy distintos. Su utilización es más útil para el análisis de carbones muy evolucionados.

Desde el punto de vista analítico, es importante señalar que el análisis elemental de un carbón exige un mínimo de unos 30 mg de muestra para que sea representativa. Esto invalida el uso de la mayor parte de los equipos de análisis, no específicos para carbón, ya que no suelen admitir más de 1 mg de muestra para análisis.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el hecho de que el contenido en Carbono e Hidrógeno se determina por combustión total de la materia orgánica y midiéndolos como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Por lo tanto, el agua presente en el carbón puede ser interpretada como Hidrógeno, por lo que es imprescindible, antes de utilizar los datos, asegurarse de que está hecha la corrección pertinente.

Con la mayoría de los equipos utilizados en el análisis elemental también se puede obtener el contenido en cenizas. Este dato no se corresponde exactamente con el determinado según Norma, ya que las condiciones del ensayo son mucho más oxidantes, pero sí da una estimación del porcentaje de fracción mineral.

Son muchos los trabajos que, recientemente, están poniendo en evidencia la correlación del análisis elemental con parámetros como: reflectancia de la vitrinita y rendimiento en la pirólisis, densidad, índice de hinchamiento al crisol y materias volátiles, rendimiento en la licuefacción y humedad de equilibrio; además de las más clásicas correlaciones con el poder calorífico. Si bien es cierto que, en algunos casos, estas correlaciones se obtuvieron con métodos no normalizados de preparación de muestras, este análisis parece el más indicado para el control de calidad de los resultados de los demás ensayos, mediante el uso de técnicas de análisis multivariante.

### a.2) Nitrógeno

Actualmente existen equipos que dan el contenido en Nitrógeno junto con los del análisis elemental clásico.

La importancia de este parámetro no es para la caracterización tecnológica sino ambiental: evaluación del potencial generador de  $\text{NO}_x$  del carbón.

El Nitrógeno deriva de las proteínas, alcaloides y clorofila, presentes en la materia orgánica inicial. Estos son compuestos relativamente estables durante la diagénesis, por lo que su contenido aumenta ligeramente en los carbones de rango medio para disminuir, también ligeramente, durante la metagénesis, en los de rango superior.

### a.3) Azufre

Existen equipos que permiten determinar el contenido total en azufre de un carbón de una forma barata, precisa y rápida.

Al igual que en el caso del nitrógeno, la importancia de este parámetro no es para la caracterización tecnológica sino ambiental: evaluación del potencial generador de SO<sub>2</sub> del carbón.

El azufre tiene diferentes orígenes en el carbón y está presente bajo distintas formas:

- \* Como sulfuros (pirita, marcasita y otros)
- \* Como sulfatos (sulfato cálcico, barita y otros)
- \* Como azufre orgánico, formando parte de la materia orgánica.

El azufre se comporta de forma totalmente distinta según la forma en la que esté presente en el carbón. Por eso, casi siempre su caracterización exige el análisis de las distintas formas de azufre.

En algunas aplicaciones es interesante determinar el azufre contaminante que es el que, en unas condiciones de combustión, se desprende como SO<sub>2</sub>.

### a.4) Oxígeno

Su conocimiento va a permitir calcular la relación O/C muy útil en la caracterización de los carbones de bajo rango.

Aunque existen métodos específicos para la determinación del contenido en Oxígeno, el método más utilizado es el de determinación por diferencia:

$$\%O = 100 - [(\%C) + (\%H) + (\%N) + (\%S)]$$

Esta forma de cálculo deriva de suponer que la materia orgánica está compuesta únicamente por C, H, N, S y O. Pero, además, la expresión anterior supone que el 100% es materia orgánica. Esto exige que dicha expresión sólo sea válida en base seca total exenta de materia mineral (STEMM).

Por lo tanto, la fiabilidad del resultado obtenido dependerá del error que se introduzca en el cambio de base y de la bondad de todos los resultados que intervienen en el cálculo.

#### b) INMEDIATO

Se denomina análisis inmediato al conjunto de las siguientes determinaciones: Humedad, Materias Volátiles, Contenido en Cenizas y Carbono fijo.

Es, con mucha diferencia el análisis más utilizado en la caracterización, clasificación y comercialización del carbón.

##### b.1) Humedad

En el carbón, la humedad se presenta de cuatro formas diferentes:

- Humedad Superficial: Es un agua externa, retenida como una fina película que recubre la superficie de las partículas de carbón.
- Humedad Higroscópica: Es el agua retenida en el interior de los capilares de la materia orgánica del carbón.
- Humedad de Descomposición: Es el agua incorporada en algunos compuestos orgánicos del carbón.
- Humedad mineral: Es el agua que forma parte de la estructura cristalina de las arcillas y otros minerales presentes en el carbón.

El problema que introduce la humedad en los análisis es su alta variabilidad.

La más variable es la superficial ya que depende de las manipulaciones que haya sufrido y que en muchos casos llegan hasta el riego directo. La humedad higroscópica, aunque en menor medida, también varía en función de las condiciones ambientales (presión, temperatura y humedad relativa) del laboratorio donde se determine.

Todas las Normas de análisis exigen que, antes de ser analizadas, las muestras estabilicen su peso en las condiciones del laboratorio. La humedad perdida, o ganada, hasta ese momento es la superficial; la higroscópica es la que resta en ese momento, determinada por calentamiento a 105°C (o por extracción con disolventes orgánicos cuando se trata de carbones inmaduros con riesgo de oxidación). Las de composición y mineral no se determinan y tienen menor importancia, ya que su variabilidad dentro de su fracción correspondiente es muy baja.

Por lo dicho, si no se especifica nada en contra, la mayoría de los laboratorios de carbón dan los resultados de los análisis en base seca al aire, esto es, considerando la humedad higroscópica como parte del carbón. Esto no sólo complica algunas interpretaciones, sino que introduce la alta variabilidad, propia de dicha humedad, en el resto de los resultados analíticos. Esto se puede corregir con cambios de base adecuados.

La humedad higroscópica, determinada en unas condiciones normalizadas de presión temperatura y humedad relativa, se utiliza como parámetro de caracterización del rango (madurez) en carbones poco evolucionados. Su utilización se basa en el hecho de que cuanto menos compactada está la materia orgánica, más poros tiene y más humedad higroscópica retiene. A partir de los carbones bituminosos de contenido medio en volátiles (hullas grasas de llama corta, correspondientes a la mitad de la catagénesis, valores en torno a 1,2 de reflectividad de la vitrinita) las diferencias dejan de ser significativas y la determinación no tiene interés. En el mismo sentido, ASTM utiliza la humedad determinada en propia capa de carbón como parámetro de rango.

#### b.2) Materias volátiles

Con la denominación de Materias Volátiles se incluyen aquellos componentes del carbón, excepto las humedades superficial e higroscópica, que son liberados a alta temperatura en ausencia de aire.

Estos componentes volátiles pueden provenir tanto de la fracción orgánica como de la inorgánica. El dato realmente útil es el contenido en materias volátiles de la fracción orgánica. Por lo tanto, se debería siempre corregir el contenido en materias volátiles restándole las correspondientes a la fracción mineral.

Las materias volátiles de la fracción mineral provienen principalmente del CO<sub>2</sub> producido en la descomposición de los carbonatos y de la humedad mineral (de constitución) de las arcillas. La más importante y fácil de determinar (por ataque con HCl y determinación del CO<sub>2</sub> desprendido) es la contribución de los carbonatos que siempre debe corregirse. La de las arcillas es menos importante y de muy difícil determinación, por lo que casi nunca se corrige.

El contenido en materias volátiles de la fracción orgánica es una medida equivalente a la relación H/C. Mide el número de estructuras lineales libres (volátiles a altas temperaturas) presentes en el carbón. También incorpora aquellas ramificaciones lineales susceptibles de ser desprendidas, por craquing térmico, de las estructuras cíclicas a las que estén ligadas.

Funciona bien como parámetro de rango a partir de los carbones bituminosos con contenido medio en volátiles; aunque, para rangos superiores a la semiantracita, su contenido es tan bajo que tampoco funciona bien, siendo mejor el empleo de la relación H/C.

### b.3) Cenizas

Representan el residuo inorgánico no combustible que permanece cuando se quema el carbón.

No es, por lo tanto, una medida de la fracción mineral del carbón, ya que ha perdido los compuestos volátiles por combustión, principalmente:

- \*  $\text{CO}_2$  de la descomposición térmica de los carbonatos.
- \*  $\text{SO}_2$  de la combustión de los sulfuros.
- \*  $\text{H}_2\text{O}$  de la pérdida del agua de cristalización de las arcillas.

y puede haber ganado el oxígeno fijado por la oxidación completa de los elementos presentes en la fracción mineral original.

Sin embargo, es una estimación válida, constituye un dato muy fácil de obtener y existen formulas sencillas para corregir los efectos más importantes y cambiar los resultados a base exenta de materia mineral.

### b.4) Carbono Fijo

Se determina por diferencia a 100 de las determinaciones anteriores.

Representa la materia orgánica residual (no volátil). Esto es, el contenido en estructuras cíclicas del carbón. Es, por lo tanto, un buen parámetro de rango. Realmente, su información es redundante con la del contenido en materia mineral.

#### 3.1.4. **Parámetros de explosividad**

Para determinar la posibilidad de explosión del polvo, existen unos parámetros de explosividad medibles según procedimientos de ensayo, algunos de ellos ya normalizados y otros en vías de normalización. Los más importantes se señalan a continuación.

##### a) Temperatura mínima de inflamación (TMI)

Es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de inflamación de una muestra de polvo. Permite determinar si una fuente térmica presente es capaz o no de iniciar el proceso. Puede realizarse el ensayo con la muestra dispersada en forma de nube (TMIn), o depositada en forma de capa (TMIC).

El aparato de ensayo empleado para la TMIn consiste en un cilindro vertical calentado eléctricamente a una cierta temperatura, en el que se provoca la dispersión del polvo. La aparición de llamas evidencia la inflamación de la muestra a la temperatura fijada.

El dispositivo de ensayo para medir la TMIc consiste en una placa metálica cuya temperatura se puede fijar a voluntad, sobre la que se deposita la muestra. Si la temperatura de ésta supera a la de la placa, se entiende que se ha producido la ignición (no es necesario que aparezcan llamas).

**b) Concentración mínima explosiva (CME)**

Existe un intervalo de concentraciones de polvo en suspensión para el cual la mezcla aire-polvo es potencialmente explosiva. El límite inferior es la CME.

El método de ensayo tradicional para determinar la CME se basa en el denominado Tubo de Hartmann, que consiste en un tubo vertical, en el que se produce la dispersión de la muestra de polvo, atravesado por un dispositivo de ignición. Cuando se observa llama en el interior del tubo, se estima que se produce la explosión para la concentración teórica obtenida al dividir la cantidad de muestra pesada por el volumen del tubo.

**c) Energía mínima de inflamación (EMI)**

Es la menor energía capaz de producir la ignición o iniciación del proceso de combustión. Permite determinar si diferentes fuentes de ignición aportan o no la energía suficiente para producir la inflamación.

El dispositivo de ensayo es un Tubo de Hartmann. La energía se calcula mediante la expresión  $E = \frac{1}{2} C V^2$ , donde C es la capacidad de los condensadores empleados en el circuito de descarga y V la tensión aplicada.

Cuanto menores sean los valores que se obtienen en los ensayos de los parámetros a, b y c, mayor es la sensibilidad a la inflamación de la muestra.

**d) Presión de explosión (PME) y velocidad máxima de aumento de presión (VMAP)**

Durante el proceso de una explosión puede medirse y registrarse la presión que se va alcanzando en el recinto donde aquella tiene lugar. La presión aumenta sólo moderadamente en los instantes iniciales, para pasar enseguida a alcanzar valores muy altos. Se llama presión máxima de explosión a la presión más alta alcanzada durante el proceso. Puede medirse también la velocidad de variación de la presión. La velocidad promedio y, sobre todo, la velocidad máxima de aumento de presión (gradiente máximo de presión) dan indicación del efecto destructivo de una explosión.

Estos parámetros se determinan en un aparato esférico de 20 litros de capacidad, que tiene la fuente de ignición en su centro geométrico y con un dispositivo de dispersión que asegura una correcta distribución del polvo en el interior de la cuba.

Cuanto mayores sean los valores que se obtienen en los ensayos d, mayor es la severidad de explosión de la muestra.

Además de estos ensayos normalizados, el LOM ha desarrollado una técnica propia consistente en la simulación, a escala reducida, de la propagación de una explosión de polvo de carbón en una galería. El fenómeno puede iniciarse con una explosión primaria de gas, de forma que se observa si esa explosión se transmite al polvo de carbón, que ha sido depositado previamente en un tubo horizontal, que simula la galería.

El ensayo de propagación es más difícilmente cuantificable que otros ensayos, de manera que no tiene la misma precisión que los métodos normalizados empleados habitualmente. No obstante, tiene las ventajas de aproximarse a una situación real y ofrecer una visión muy clara del riesgo de explosión cuando se obtiene resultado positivo.

### 3.1.5. Índices de explosividad

Existen diferentes criterios para estudiar la explosividad de los productos pulverulentos combustibles. Algunos de los índices de explosividad más comúnmente empleados son los siguientes:

#### a) Constante característica K<sub>st</sub>

Mientras la PME es prácticamente independiente del volumen, V, en el que tiene lugar la explosión, se ha comprobado experimentalmente que la VMAP depende en gran medida de aquél. De hecho, la denominada Ley Cúbica establece una dependencia clara entre estas variables:

$$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{m\acute{a}x} \cdot V^{\frac{1}{3}} = K_{st}$$

K<sub>st</sub> es una constante característica de cada tipo de polvo combustible, que se emplea para establecer una clasificación de la explosividad del polvo. Se utiliza frecuentemente para clasificar polvos de productos industriales.

En la siguiente tabla se da la relación existente entre la clase de explosión, la constante característica y la severidad física de la explosión de polvo.

Clase	K <sub>st</sub> (bar.m/s)	Característica
St 0	0	No hay explosión
St 1	0 - 200	Explosión débil
St 2	200 - 300	Explosión fuerte
St 3	> 300	Expl. muy fuerte

Sin embargo, esta clasificación no es selectiva para los carbones, ya que los valores típicos de  $(dP/dt)$  de muy diversos tipos de polvo de carbón conducen todos a la clase St1, asignando a todos ellos una "característica de explosión débil", que no corresponde a la realidad.

Es más adecuado recordar, sencillamente, que cuanto mayores sean los valores de la presión máxima de explosión y de la velocidad máxima de aumento de presión alcanzados por la muestra, más graves serán los efectos o consecuencias esperables en caso de producirse una explosión.

Los valores de Kst para cada una de las 100 muestras estudiadas se han incluido en la tabla correspondiente a la severidad de explosión.

#### b) Indices de Pittsburgh

Los índices de Pittsburgh comparan los parámetros de explosividad de una determinada muestra de polvo combustible con los del carbón de Pittsburgh, considerado en Estados Unidos como patrón. Existen dos índices: sensibilidad a la inflamación (SI), que se refiere a los parámetros temperatura mínima de inflamación en nube (TMin), concentración mínima explosiva (CME) y energía mínima de ignición (EMI), y severidad de la explosión (SE), que contrasta los valores de PME y VMAP. Si alguno de los parámetros no se determina (o no se puede determinar porque el correspondiente ensayo no da resultado positivo), el índice no se puede calcular. Los dos índices se multiplican para obtener el índice de explosividad (IE). En la tabla siguiente se recoge la relación entre estos factores.

SI	SE	IE	Riesgo de explosión
< 0,2	< 0,5	< 0,1	Débil
0,2-1,0	0,5-1,0	0,1-1,0	Moderado
1,0-5,0	1,0-2,0	1,0-10	Fuerte
> 5,0	> 2,0	> 10	Severo

#### c) Variables canónicas

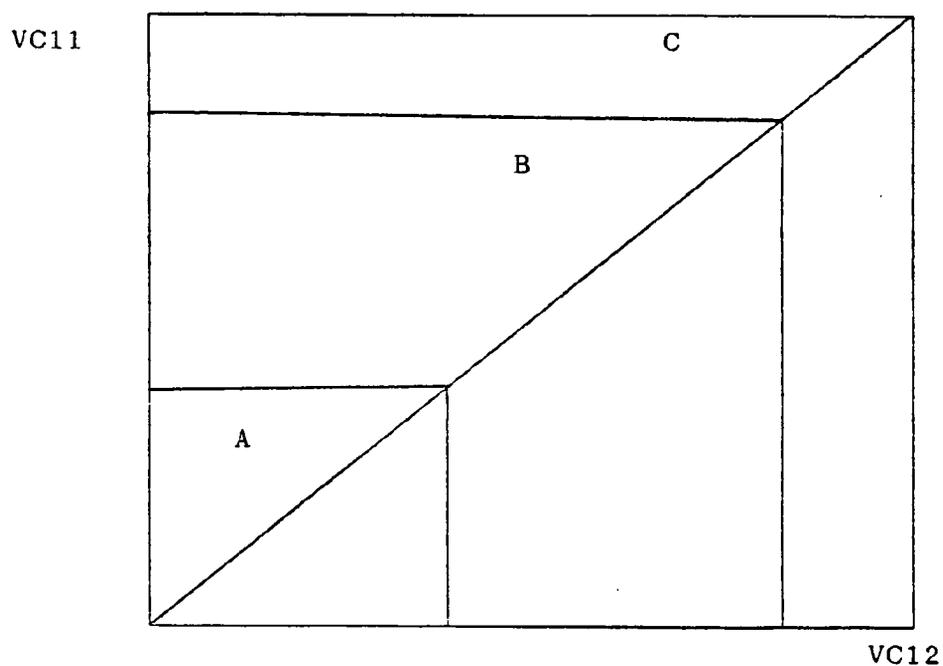
La experiencia adquirida por el LOM ha permitido desarrollar un método de evaluación del riesgo basado en el hecho de que las variables que se determinan en el laboratorio para caracterizar químicamente un tipo de carbón (análisis elemental y análisis inmediato) están correlacionadas con las variables que caracterizan la explosividad de dicho carbón (parámetros de explosividad). Estos dos conjuntos de variables se pueden agrupar en

sendos vectores o variables canónicas (denominadas VC11 y VC12), que no son sino combinaciones lineales de las variables relativas y a los parámetros de explosividad y a los análisis químicos, respectivamente. Sus expresiones matemáticas son las siguientes:

$$VC11 = - 1,664 + 1/1000 (1,911 TMI + 0,193 CME + \\ + 0,050 EMI - 0,439 PME - 0,0003 VMAP)$$

$$VC12 = - 3,055 + 1/1000 (51,69 C - 38,96 H + 40,73 S - \\ - 12,40 W + 63,76 A - 56,90 V)$$

En la siguiente figura se representa el diagrama canónico sobre el que se fijarán los valores de VC11 y VC12.



La variable canónica VC11 recoge todos los resultados de los parámetros de explosividad. Constituye, en sí misma, un índice de explosividad.

### 3.2. Selección de explotaciones

La toma de muestras se fue realizando ajustándose a la programación, con la salvedad de distribuir los muestreos previstos para 1.990 en tres campañas, en lugar de las dos planificadas. Sin embargo, en Junio de 1.990 se produjo un grave incidente que hizo necesario introducir una importante modificación: en la mina La Serrana hubo una explosión pocas fechas antes de la visita programada. Como consecuencia de esa explosión, la mina estuvo cerrada algún tiempo y fue necesario elegir otra mina que permitiese realizar el muestreo en las fechas previstas. Por otra parte, al precisarse un número elevado de muestras para completar el estudio, parecía más adecuado recurrir a una mina que estuviera explotando varias capas, como era el caso de "Carmen y Pura", en la que, además, aparecen capas de composición y características anómalas, según los datos del director de labores de la empresa. Finalmente se decidió tomar muestras en dicha mina, aún cuando se tratara de una explotación a cielo abierto.

Con esa última campaña de muestreo se completaban las cien muestras inicialmente programadas, recogidas en once explotaciones representativas (casi exhaustivamente) de la minería del carbón en Teruel, como se muestra en el siguiente cuadro.

<u>MINA</u>	<u>EMPRESA</u>	<u>FECHA</u>	<u>MUESTRAS</u>
Oportuna	ENDESA	1/DIC/88	TER-1 a TER-10
Innominada	ENDESA	1/MAR/89	TER-11 a TER-18
Patricia	Lignitos Castellote	2/MAR/89	TER-19 a TER-23
Cañizara	SAMCA	19/ABR/89	TER-24 a TER-31
Santa María	SAMCA	20/ABR/89	TER-32 a TER-41
Pozo Pilar	Minas y Ferrocarriles de Utrillas	26/SEP/89	TER-42 a TER-47
Aún Hay Caso	Minas Escucha	27/SEP/89	TER-48 a TER-57
María y Regina	Aragón Minero	27/FEB/90	TER-58 a TER-65
Concepción	Minera Martín-Aznar	28/FEB/90	TER-66 a TER-73
Luisa	Compañía General Minera de Teruel	26/JUN/90	TER-74 a TER-81
Carmen y Pura	Aragón Minero	27/JUN/90	TER-82 a TER-100

En los siguientes apartados se presentan los resultados de las determinaciones realizadas para los carbones de las once minas estudiadas. Los datos de los análisis químicos se dan en porcentajes en peso, sobre base seca al aire. Los parámetros de explosividad son los siguientes:

TMlc = Temperatura mínima de ignición en capa  
TMIn = Temperatura mínima de inflamación en nube  
CME = Concentración mínima explosiva  
EMI = Energía mínima de inflamación  
PME = Presión máxima de explosión  
VMAP = Velocidad máxima de aumento de presión  
Kst = constante característica.

Pueden encontrarse, además, las siguientes siglas, cuyo significado se explica a continuación:

ND = El ensayo no da resultado positivo (no hay ignición)  
N.P. = No se registra propagación de la explosión.  
P.P. = Se registra propagación parcial a lo largo del tubo.  
P.C. = Se registra propagación total a lo largo del tubo.

En el Anexo A1 pueden encontrarse los planos de labores de las diferentes minas, con indicación de los puntos de muestreo.

En el Anexo A2 se recogen las siguientes figuras para las muestras de cada mina:

- Curvas granulométricas
- Variación de PME y VMAP con la concentración
- Diagramas canónicos

### 3.3. Mina Oportuna

#### 3.3.1. Toma de muestras

La toma de muestras se efectuó el día 1 de Diciembre de 1.988. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Muestra	Tipo	Observaciones	Lugar
TER-1	roza	bastante húmeda no hay polvo	cuartel 1009 1 <sup>er</sup> recorte nivel 25011
TER-2	natural	poca humedad polvo sucio	cuartel 1009 salida explot. base (in. pozo)
TER-3	roza	mucha humedad	cuartel 1009 nivel 25132 guia de base
TER-4	natural	polvo húmedo	iniciación del nivel 25132 descarga panzer
TER-5	natural	polvo muy abundante y seco	salida de cuartel a galería 10
TER-6	natural	polvo abundante disperso por el suelo	galería de transporte 10, entre cuarteles
TER-7	roza	húmeda	nivel 22112
TER-8	roza	seca	nivel 22111
TER-9	natural	poco polvo, seco y disperso por el suelo	descarga del transportador, cuartel 1005
TER-10	natural	polvo muy abun- dante, seco y amontonado	galería 10

### 3.3.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.3.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
1	TER-1	25,95	2,69	6,25
2	TER-2	16,20	1,72	5,75
3	TER-3	35,40	2,81	6,95
4	TER-4	43,10	2,99	5,40
5	TER-5	45,55	3,17	5,95
6	TER-6	26,65	1,96	5,20
7	TER-7	52,30	3,39	6,05
8	TER-8	54,20	3,65	6,60
9	TER-9	43,45	3,00	5,85
10	TER-10	47,20	3,00	5,70

**3.3.4. Análisis inmediato**

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
1	TER-1	22,05	52,65	4,80	0,10
2	TER-2	17,00	66,50	4,55	0,30
3	TER-3	26,50	40,40	5,45	0,73
4	TER-4	26,60	30,30	9,45	0,38
5	TER-5	29,55	23,75	10,80	0,41
6	TER-6	29,40	50,75	6,00	8,15
7	TER-7	33,10	17,55	10,50	1,15
8	TER-8	32,30	15,40	7,95	0,22
9	TER-9	29,80	28,00	10,70	0,94
10	TER-10	28,30	26,40	7,85	0,80

## 3.3.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMIc (°C)	TMIIn (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
1	TER-1	270	560	ND	ND
2	TER-2	ND	ND	ND	ND
3	TER-3	260	580	714	ND
4	TER-4	300	690	ND	ND
5	TER-5	290	580	ND	ND
6	TER-6	270	520	ND	ND
7	TER-7	240	470	62	100
8	TER-8	230	470	62	100
9	TER-9	290	480	ND	ND
10	TER-10	250	510	404	ND

## 3.3.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
1	TER-1	4,5	40	10
2	TER-2	0,5	15	4
3	TER-3	5,9	130	35
4	TER-4	6,8	250	67
5	TER-5	6,5	210	57
6	TER-6	5,5	85	23
7	TER-7	8,3	428	116
8	TER-8	8,5	365	99
9	TER-9	6,0	105	28
10	TER-10	6,8	183	49

## 3.3.7. Aptitud a la propagación

MUESTRA	TIPO	RESULTADO
TER-1	R	N.P.
TER-2	N	N.P.
TER-3	R	N.P.
TER-4	N	N.P.
TER-5	N	N.P.
TER-6	N	N.P.
TER-7	R	P.C.; TUBO 6 m; 350-750 g/m <sup>3</sup>
TER-8	R	P.C.; TUBO 4 m; 350-750 g/m <sup>3</sup>
TER-9	N	N.P.
TER-10	N	N.P.

## 3.3.8. Indices de explosividad

Muestra	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Esteril
TER-1	-	1,02	41
TER-2	-	0,20	23
TER-3	-	1,88	51
TER-4	-	0,88	55
TER-5	-	1,08	60
TER-6	-	1,15	51
TER-7	0,68	3,13	62
TER-8	0,62	3,13	62
TER-9	-	1,24	59
TER-10	-	2,11	57

### 3.4. Mina Innominada

#### 3.4.1. Toma de muestras

La toma de muestras se efectuó el día 1 de Marzo de 1.989. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Muestra	Tipo	Observaciones	Lugar
TER 11	roza	algo húmeda	NS-6-83 bis, prolongación galería en capa
TER 12	roza	algo húmeda	Tajo S6
TER 13	natural	algo húmeda, polvo abundan- te	Galería gral.71 bajo cinta tr., a 15m del re- corte 791 bis
TER 14	natural	polvo muy seco y abundante, mezcla carbón	Cruce G.G. 71 con recorte 71, trasvase cintas y estéril
TER 15	roza	algo húmeda	Tajo S9, zona de la rozadora
TER 16	roza	algo húmeda	Tajo S9, sobre rozadora, mezcla de todo el fren te (> 4m de po- tencia)
TER 17	natural	húmeda	Acceso 812 este al tajo S9, transferencia de panzer
TER 18	natural	seca	Trasvase recor- te 71 a recorte 812, bajo cinta transportadora

### 3.4.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.4.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
11	TER-11	50,15	3,56	7,10
12	TER-12	58,95	3,73	6,85
13	TER-13	45,40	2,90	6,05
14	TER-14	28,25	2,03	4,15
15	TER-15	34,85	2,85	6,60
16	TER-16	43,70	3,39	9,20
17	TER-17	34,70	2,44	6,80
18	TER-18	30,00	2,38	5,05

### 3.4.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
11	TER-11	32,25	20,70	7,00	0,00
12	TER-12	33,05	13,80	2,80	0,00
13	TER-13	26,45	23,30	12,40	0,00
14	TER-14	17,75	55,60	6,00	0,00
15	TER-15	25,15	43,90	1,80	0,00
16	TER-16	30,25	30,60	2,15	0,00
17	TER-17	24,65	36,75	11,20	0,00
18	TER-18	24,25	43,45	9,90	1,12

### 3.4.7. Aptitud a la propagación

MUESTRA	TIPO	RESULTADO
TER-11	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-12	R	P.C.; TUBO 6 m; 500-750 g/m <sup>3</sup>
TER-13	N	N.P.
TER-14	N	N.P.
TER-15	R	N.P.
TER-16	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-17	N	N.P.
TER-18	N	N.P.

### 3.4.8. Índices de explosividad

Muestra	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-11	0,008	2,93	61
TER-12	0,002	3,14	61
TER-13	-	1,17	59
TER-14	-	1,02	30
TER-15	-	2,04	46
TER-16	0,002	2,70	55
TER-17	-	0,76	54
TER-18	-	0,93	52

### 3.5. Mina Patricia

#### 3.5.1. Toma de muestras

El día 2 de Marzo se efectuó la toma de muestras en la mina Patricia. En el siguiente cuadro se indican las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Tipo	Observaciones
TER 19	natural	seco y abundante
TER 20	roza	seco, avance galería
TER 21	roza	seco, cámara
TER 22	natural	seco y abundante
TER 23	roza	seco, cámara

#### 3.5.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

#### 3.5.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
19	TER-19	42,60	2,41	4,10
20	TER-20	68,50	3,72	1,85
21	TER-21	47,80	3,49	3,70
22	TER-22	42,85	2,51	4,90
23	TER-23	44,40	3,14	5,70

**3.5.4. Análisis inmediato**

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
19	TER-19	22,70	32,80	8,00	0,00
20	TER-20	30,40	7,10	4,75	0,00
21	TER-21	28,00	23,60	0,60	0,00
22	TER-22	23,95	31,05	12,45	0,00
23	TER-23	25,80	35,30	2,00	0,08

**3.5.5. Sensibilidad a la inflamación**

Muestra	Etiqueta	TM <sub>ic</sub> (°C)	TM <sub>in</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
19	TER-19	260	480	370	ND
20	TER-20	230	460	62	200
21	TER-21	230	480	93	8800
22	TER-22	290	530	1800	ND
23	TER-23	240	480	124	ND

**3.5.6. Severidad de explosión**

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	K <sub>st</sub> (bar.m/s)
19	TER-19	7,2	180	48
20	TER-20	8,2	368	99
21	TER-21	7,7	220	59
22	TER-22	6,1	90	24
23	TER-23	6,9	190	51

### 3.5.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-19	N	N.P.
TER-20	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-21	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-22	N	N.P.
TER-23	R	P.P.; TUBO 2 m

### 3.5.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-19	-	2,19	51
TER-20	0,30	3,14	61
TER-21	0,002	2,63	58
TER-22	-	1,77	54
TER-23	-	2,23	48

### 3.6. Mina Cañizara

#### 3.6.1. Toma de muestras

La toma de muestras se efectuó el día 19 de Abril de 1989. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Observaciones	Procedencia
Ter 24	Natural, muy seca y abundante. Polvo muy fino	final nivel cabeza trasvase transp. a cinta
Ter 25	Roza, seca	tajo 1 <sup>era</sup> máquina nivel de explot.
Ter 26	Roza, seca y muy desmenuzada	galería nivel de explotación (principio).
Ter 27	Roza, del hastial superficie meteorizada, seca	nivel pie, galería general
Ter 28	Natural, seca, pequeñas acumulaciones de polvo	vertido nivel pie, trasvase cintas
Ter 29	Roza, muy húmeda	nivel de drenaje, fondo de mina
Ter 30	Natural, seca, polvo muy disperso	nivel de drenaje, a 25 m del plano auxiliar
Ter 31	Roza, seca	final plano aux.

### 3.6.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.6.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
24	TER-24	36,10	2,53	6,70
25	TER-25	39,40	3,03	5,90
26	TER-26	46,40	2,95	5,80
27	TER-27	35,30	2,23	8,60
28	TER-28	16,60	1,54	3,90
29	TER-29	39,20	2,83	5,60
30	TER-30	31,70	2,32	5,65
31	TER-31	61,50	3,68	4,10

### 3.6.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
24	TER-24	23,55	34,95	12,10	0,00
25	TER-25	27,35	33,80	5,35	0,54
26	TER-26	29,10	27,40	3,65	0,22
27	TER-27	25,60	37,65	3,80	0,00
28	TER-28	13,75	68,20	4,50	0,03
29	TER-29	26,20	37,15	2,95	0,00
30	TER-30	24,25	39,95	10,80	0,19
31	TER-31	34,80	10,90	2,80	0,12

### 3.6.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TM <sub>ic</sub> (°C)	TM <sub>ln</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
24	TER-24	ND	530	ND	ND
25	TER-25	250	530	280	ND
26	TER-26	250	530	124	ND
27	TER-27	250	460	560	ND
28	TER-28	ND	530	ND	ND
29	TER-29	260	530	217	ND
30	TER-30	ND	530	ND	ND
31	TER-31	230	480	62	220

### 3.6.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	K <sub>st</sub> (bar.m/s)
24	TER-24	5,7	60	16
25	TER-25	6,6	195	52
26	TER-26	7,2	200	54
27	TER-27	6,1	128	34
28	TER-28	4,1	35	9
29	TER-29	6,5	125	33
30	TER-30	2,9	25	6
31	TER-31	8,0	300	81

### 3.6.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-24	N	N.P.
TER-25	N	N.P.
TER-26	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-27	N	N.P.
TER-28	N	N.P.
TER-29	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-30	N	N.P.
TER-31	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>

### 3.6.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-24	-	1,13	54
TER-25	-	2,09	55
TER-26	-	2,15	56
TER-27	-	2,15	51
TER-28	-	1,06	13
TER-29	-	2,10	51
TER-30	-	1,01	53
TER-31	0,21	3,09	63

### 3.7. Mina Santa Maria

#### 3.7.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó el día 20 de Abril de 1989. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Observaciones	Procedencia
Ter 32	Natural, seca, abundante y amon-tonada	machacadora 4 <sup>ta</sup> planta
Ter 33	Roza, del hastial, seca, cámara hundida	zona 46
Ter 34	Natural, seca y abundante, acumulada	recorte 47, debajo de la cinta transportadora
Ter 35	Roza, cámara hundida	zona 47
Ter 36	Natural, seca y abundante, polvo muy fino	plano principal, a la altura de la entrada a 4ta planta
Ter 37	Roza, seca, mezcla de todo el frente	nivel 4B1
Ter 38	Natural, húmeda y abundante	debajo de la cinta transportadora, a 50m entrada nivel 4B1
Ter 39	Roza, seca, nivel recién hecho	nivel 4B2
Ter 40	Natural, algo húmeda, muy abundante, acumulada	galería nivel 4bis 50m pasada entrada al nivel 4B2
Ter 41	Natural, seca y abundante, polvo muy fino	cabeza cinta gral.

### 3.7.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.7.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
32	TER-32	39,20	2,91	4,65
33	TER-33	59,10	3,86	6,80
34	TER-34	33,60	2,38	4,90
35	TER-35	54,80	3,92	6,40
36	TER-36	37,50	2,69	5,35
37	TER-37	41,60	3,05	9,95
38	TER-38	32,20	2,19	4,65
39	TER-39	57,10	4,05	5,70
40	TER-40	43,90	3,22	5,90
41	TER-41	41,60	2,76	5,55

## 3.7.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
32	TER-32	23,05	35,85	9,55	0,09
33	TER-33	33,35	12,95	2,50	0,00
34	TER-34	21,00	42,10	11,50	0,17
35	TER-35	35,20	17,40	2,10	0,00
36	TER-36	24,75	39,10	9,00	0,99
37	TER-37	31,75	28,35	1,40	0,12
38	TER-38	21,60	38,20	14,65	0,14
39	TER-39	35,30	16,90	1,30	0,00
40	TER-40	27,50	23,95	14,45	0,23
41	TER-41	26,45	32,50	8,70	0,45

### 3.7.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMlc (°C)	TMIn (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
32	TER-32	ND	530	ND	ND
33	TER-33	240	480	62	220
34	TER-34	ND	530	ND	ND
35	TER-35	230	460	124	260
36	TER-36	ND	580	ND	ND
37	TER-37	240	460	124	ND
38	TER-38	ND	530	ND	ND
39	TER-39	240	530	124	1400
40	TER-40	ND	580	ND	ND
41	TER-41	ND	530	1240	ND

### 3.7.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
32	TER-32	6,8	128	34
33	TER-33	8,2	435	118
34	TER-34	5,4	55	14
35	TER-35	8,1	378	102
36	TER-36	5,4	55	14
37	TER-37	7,2	153	41
38	TER-38	6,5	90	24
39	TER-39	8,3	340	92
40	TER-40	5,6	75	20
41	TER-41	6,6	100	27

## 3.7.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	TIPO	RESULTADO
TER-32	N	N.P.
TER-33	R	P.C.; TUBO 2 m; 500-750 g/m <sup>3</sup>
TER-34	N	N.P.
TER-35	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-36	N	N.P.
TER-37	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-38	N	N.P.
TER-39	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-40	N	N.P.
TER-41	N	N.P.

## 3.7.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-32	-	1,18	51
TER-33	0,30	3,10	61
TER-34	-	1,12	48
TER-35	0,12	3,12	62
TER-36	-	1,03	50
TER-37	-	2,28	58
TER-38	-	1,17	53
TER-39	0,02	2,93	61
TER-40	-	1,04	60
TER-41	-	1,90	54

### 3.8. Pozo Pilar

#### 3.8.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó el día 26 de Septiembre de 1.989. En el siguiente cuadro se indican las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Características	Procedencia
Ter 42	Roza; seca y fracturada	Avance capa 4 <sup>ta</sup> Galería 810
Ter 43	Roza, seca	Galería 816 oeste Capa 6 <sup>ta</sup>
Ter 44	Roza, seca	Nicho de corona, Galería 846
Ter 45	Roza, seca	Nicho de pata Tajo 876
Ter 46	Natural	Retorno de la cinta, guía de pata
Ter 47	Natural	Cruce plano 15° con galería 880

#### 3.8.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.8.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
42	TER-42	66,60	4,20	2,15
43	TER-43	56,70	3,65	7,05
44	TER-44	59,75	4,30	6,15
45	TER-45	62,45	4,20	3,90
46	TER-46	32,34	3,04	5,00
47	TER-47	30,38	3,26	5,10

### 3.8.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
42	TER-42	33,90	12,40	0,00	0,57
43	TER-43	32,00	17,80	4,20	0,12
44	TER-44	31,75	11,95	4,20	1,19
45	TER-45	36,20	14,30	0,00	1,68
46	TER-46	23,40	44,95	4,60	0,60
47	TER-47	22,15	43,45	8,05	0,00

### 3.8.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMIc (°C)	TMI <sub>0</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
42	TER-42	240	500	124	160
43	TER-43	230	420	62	1100
44	TER-44	230	450	124	120
45	TER-45	210	510	124	310
46	TER-46	ND	580	ND	ND
47	TER-47	ND	610	ND	ND

### 3.8.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
42	TER-42	7,7	178	48
43	TER-43	7,4	248	67
44	TER-44	7,4	203	55
45	TER-45	7,6	278	75
46	TER-46	4,9	50	13
47	TER-47	3,5	30	8

### 3.8.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-42	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-43	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-44	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-45	R	P.C.; TUBO 2 m; 150-500 g/m <sup>3</sup>
TER-46	N	N.P.
TER-47	N	N.P.

### 3.8.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canonico	% Estéril
TER-42	0.08	3,02	60
TER-43	0.04	3,13	58
TER-44	0.13	3,11	61
TER-45	0.06	2,99	61
TER-46	-	1,00	47
TER-47	-	0,88	50

### 3.9. Mina Aún Hay Caso

#### 3.9.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó el día 27 de Septiembre de 1.989. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Característica	Procedencia
Ter 48	Natural; seca, gruesa y muy abundante	Galería capa 4 <sup>ta</sup> Piso 4 <sup>to</sup>
Ter 49	Roza, seca	Crucero capa 4 <sup>ta</sup> Piso 4 <sup>to</sup>
Ter 50	Roza, seca	Explotación capa cuarta
Ter 51	Roza, seca	Sobreguía capa 4 <sup>ta</sup> Piso 5 <sup>to</sup>
Ter 52	Natural; seca, fina y muy abundante; a pie de panzer	Recorte Piso 5 <sup>to</sup> transporte gral.
Ter 53	Natural; seca, muy fina y abundante; a pie de panzer	Galería capa 6 <sup>ta</sup> Piso 5 <sup>to</sup>
Ter 54	Roza, seca	Crucero capa 6 <sup>ta</sup> Piso 5 <sup>to</sup>
Ter 55	Natural; muy fina, seca y dispersa	Galería capa 4 <sup>ta</sup> , frente al crucero de 6 <sup>ta</sup>
Ter 56	Roza, seca	Galería 6 <sup>ta</sup> Piso 5 <sup>to</sup>
Ter 57	Natural; seca y dispersa	Boquilla gral. de carga

### 3.9.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.9.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
48	TER-48	38,89	3,47	4,25
49	TER-49	73,30	4,60	2,45
50	TER-50	58,33	4,07	3,90
51	TER-51	75,88	4,74	1,35
52	TER-52	50,25	4,02	3,85
53	TER-53	36,37	3,30	6,50
54	TER-54	59,29	4,19	6,50
55	TER-55	51,17	3,95	5,55
56	TER-56	56,56	4,03	7,90
57	TER-57	42,62	3,61	5,50

## 3.9.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
48	TER-48	24,45	36,15	6,25	0,00
49	TER-49	36,15	5,30	0,85	0,00
50	TER-50	32,85	19,40	1,30	0,08
51	TER-51	35,35	3,10	1,00	0,04
52	TER-52	29,60	24,50	6,40	0,00
53	TER-53	26,25	39,40	4,40	1,67
54	TER-54	38,05	17,20	0,70	0,05
55	TER-55	30,50	24,40	4,90	5,37
56	TER-56	33,65	18,15	1,35	0,41
57	TER-57	28,30	32,70	5,95	0,27

## 3.9.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TM <sub>ic</sub> (°C)	TM <sub>in</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
48	TER-48	ND	610	ND	ND
49	TER-49	220	510	125	40
50	TER-50	220	510	125	620
51	TER-51	210	560	93	50
52	TER-52	ND	580	ND	ND
53	TER-53	ND	610	ND	ND
54	TER-54	230	500	125	310
55	TER-55	240	580	93	ND
56	TER-56	230	440	93	70
57	TER-57	300	590	ND	ND

## 3.9.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
48	TER-48	6,3	85	23
49	TER-49	7,4	255	69
50	TER-50	7,2	230	62
51	TER-51	7,9	298	80
52	TER-52	6,4	100	27
53	TER-53	4,9	63	17
54	TER-54	6,6	125	33
55	TER-55	7,0	188	51
56	TER-55	7,2	150	40
57	TER-57	6,1	100	27

## 3.9.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-48	N	N.P.
TER-49	R	P.C.; TUBO 2 m; 250-500 g/m <sup>3</sup>
TER-50	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-51	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-52	N	N.P.
TER-53	N	N.P.
TER-54	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-55	N	P.P.; TUBO 2 m
TER-56	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-57	N	N.P.

**3.9.8. Indices de explosividad**

<b>Etiqueta</b>	<b>Ind. Pittsburgh</b>	<b>I.Canónico</b>	<b>% Estéril</b>
TER-48	-	1,01	52
TER-49	0,41	3,00	62
TER-50	0,02	2,96	58
TER-51	0,51	2,93	62
TER-52	-	1,07	58
TER-53	-	0,95	51
TER-54	0,02	2,96	61
TER-55	-	2,05	57
TER-56	0,21	3,12	59
TER-57	-	1,04	55

### 3.10. Mina María y Regina

#### 3.10.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó, el día 27 de Febrero de 1.990. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Observaciones	Procedencia
TER-58	Roza, desmenuzada y seca.	Tajo nivel de cabeza
TER-59	Roza, seca; muestra del hastial	Nivel cabeza, tajo abandonado
TER-60	Natural, húmeda, muy dispersa y gruesa	Rampa nivel de cabeza, trasvase panzer a cinta
TER-61	Natural; seca, dispersa y fina	Rampa nivel de cabeza, comienzo
TER-62	Roza, mezcla de todo el frente	Tajo nivel pie
TER-63	Natural, seca y fragmentada	Tajo nivel pie, en la PK
TER-64	Natural; algo húmeda y muy abundante	Rampa nivel pie, trasvase panzer a panzer
TER-65	Natural; muy seca y abundante	Rampa nivel pie, a 250m del tajo

#### 3.10.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

### 3.10.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
58	TER-58	61,24	4,36	5,50
59	TER-59	53,20	3,96	5,50
60	TER-60	49,43	4,42	5,05
61	TER-61	54,28	4,45	4,70
62	TER-62	53,41	4,35	9,75
63	TER-63	41,09	3,67	5,85
64	TER-64	44,22	3,75	5,80
65	TER-65	15,44	2,08	5,85

### 3.10.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
58	TER-58	38,20	10,65	1,80	0,02
59	TER-59	37,15	15,30	2,05	0,00
60	TER-60	35,55	17,10	11,95	0,00
61	TER-61	34,20	13,50	10,00	0,61
62	TER-62	34,75	13,95	6,75	0,00
63	TER-63	28,35	29,80	9,20	0,87
64	TER-64	30,50	26,15	8,20	0,85
65	TER-65	22,25	64,15	5,90	2,52

### 3.10.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMIc (°C)	TMIIn (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
58	TER-58	220	320	62	30
59	TER-59	210	320	93	310
60	TER-60	230	420	714	8800
61	TER-61	230	440	217	4400
62	TER-62	220	340	125	3800
63	TER-63	240	480	ND	ND
64	TER-64	230	460	3012	ND
65	TER-65	ND	660	ND	ND

### 3.10.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
58	TER-58	7,9	258	70
59	TER-59	7,4	198	53
60	TER-60	7,6	243	65
61	TER-61	7,6	208	56
62	TER-62	7,8	213	57
63	TER-63	6,4	110	29
64	TER-64	6,4	168	45
65	TER-65	0,7	20	5

### 3.10.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-58	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-59	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-60	N	N.P.
TER-61	N	N.P.
TER-62	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-63	N	N.P.
TER-64	N	N.P.
TER-65	N	N.P.

### 3.10.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canonico	% Estéril
TER-58	1,92	3,40	64
TER-59	0,09	3,35	65
TER-60	0,00	2,62	66
TER-61	0,002	2,90	62
TER-62	0,005	3,15	63
TER-63	-	1,26	58
TER-64	-	1,69	60
TER-65	-	0,67	38

### 3.11. Mina Concepción

#### 3.11.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó el día 28 de Febrero de 1.990. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Observaciones	Procedencia
TER-66	Natural; muy seca y muy abundante	Exterior mina, vuelco vagonetas sobre tolva
TER-67	Roza; seca	Cámara A-12, capa de techo
TER-68	Roza; seca	Cámara A-12, capa intermedia
TER-69	Roza; seca	Cámara A-12, capa de muro
TER-70	Roza; seca	Cámara A-12, roza de todo el paquete
TER-71	Natural; muy sucia seca y abundante	Galería B, tajo capa 6 <sup>ta</sup> , planta 3 <sup>a</sup> a 200m del taller
TER-72	Natural; muy seca, muy fina y abundante	Bajo cinta transportadora, en el plano de extracción
TER-73	Natural; seco y abundante, fina	Embarque interior, a 20m de las tolvas

#### 3.11.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

**3.11.3. Análisis elemental**

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
66	TER-66	33,61	2,64	5,45
67	TER-67	54,41	3,88	5,15
68	TER-68	33,87	2,85	5,20
69	TER-69	50,93	3,67	6,35
70	TER-70	29,10	2,59	5,30
71	TER-71	23,57	2,61	4,85
72	TER-72	28,93	2,63	7,00
73	TER-73	30,99	2,81	4,25

**3.11.4. Análisis inmediato**

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
66	TER-66	21,70	46,90	3,15	2,65
67	TER-67	32,00	21,10	0,90	0,00
68	TER-68	23,25	46,05	0,70	0,02
69	TER-69	29,65	23,80	1,40	0,04
70	TER-70	21,50	51,60	0,85	0,00
71	TER-71	19,55	54,10	5,95	0,81
72	TER-72	20,70	50,10	4,15	0,71
73	TER-73	21,70	47,90	6,25	1,01

### 3.11.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMIc (°C)	TMIIn (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI(ml)
66	TER-66	290	560	ND	ND
67	TER-67	230	440	93	3200
68	TER-68	250	480	ND	ND
69	TER-69	230	460	190	ND
70	TER-70	260	460	ND	ND
71	TER-71	ND	630	ND	ND
72	TER-72	ND	590	ND	ND
73	TER-73	260	610	ND	ND

### 3.11.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
66	TER-66	5,7	80	21
67	TER-67	7,0	175	47
68	TER-68	3,7	38	10
69	TER-69	6,6	130	35
70	TER-55	0,7	15	4
71	TER-71	2,0	28	7
72	TER-72	5,3	60	16
73	TER-73	5,4	60	16

### 3.11.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-66	N	N.P.
TER-67	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-68	R	N.P.
TER-69	R	P.P.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-70	R	N.P.
TER-71	N	N.P.
TER-72	N	N.P.
TER-73	N	N.P.

### 3.11.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-66	-	1,08	41
TER-67	0,59	2,96	58
TER-68	-	1,14	43
TER-69	-	2,24	56
TER-70	-	1,05	38
TER-71	-	0,88	41
TER-72	-	1,00	39
TER-73	-	0,97	44

### 3.12. Mina Luisa

#### 3.12.1. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó el día 26 de Junio de 1.990. En el siguiente cuadro se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Observaciones	Procedencia
TER-74	Natural. Seco, abundante, fino mezclado	Nivel cabeza, zona alta. Traslase cinta
TER-75	Roza. Seco	Nivel base, zona alta. Capa 4 <sup>a</sup> . Avance PK
TER-76	Roza. Seco	Nivel base, zona alta. Capa 3 <sup>a</sup> . Avance PK
TER-77	Natural. Seco, muy grueso, mezclado	Bifurcación galería nivel cabeza, zona baja. Junto a antigua cámara.
TER-78	Roza, seco	Nivel cabeza, zona alta. Capa 4 <sup>a</sup> . Avance PK
TER-79	Roza, seco	Nivel cabeza, zona alta. Capa 3 <sup>a</sup> . Avance PK
TER-80	Natural. Seco, abundante, fino mezclado	Nivel cabeza, zona alta. Vuelco PK a panzer. 25 m frente
TER-81	Natural. Seco, abundante, fino	Plano extracción, a 10 m salida a calle

#### 3.12.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

**3.12.3. Análisis elemental**

Muestra	Etiqueta	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
74	TER-74	26,35	3,32	6,85
75	TER-75	49,17	3,31	7,70
76	TER-76	30,34	2,68	6,30
77	TER-77	24,59	3,20	5,30
78	TER-78	47,86	3,26	11,50
79	TER-79	21,88	2,33	5,80
80	TER-80	27,05	3,80	7,55
81	TER-81	31,66	3,65	9,30

**3.12.4. Análisis inmediato**

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
74	TER-74	22,90	44,35	10,85	0,00
75	TER-75	32,70	24,70	0,25	0,04
76	TER-76	26,90	47,15	0,45	0,02
77	TER-77	22,75	46,55	9,75	0,00
78	TER-78	34,15	22,15	1,05	0,01
79	TER-79	22,70	58,15	0,80	0,04
80	TER-80	25,25	38,25	14,95	0,00
81	TER-81	25,45	28,60	11,80	0,04

**3.12.5. Sensibilidad a la inflamación**

Muestra	Etiqueta	TM <sub>ic</sub> (°C)	TM <sub>in</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
74	TER-74	260	480	ND	ND
75	TER-75	220	440	155	4400
76	TER-76	240	460	ND	ND
77	TER-77	270	480	ND	ND
78	TER-78	220	400	93	160
79	TER-79	250	460	ND	ND
80	TER-80	270	440	ND	ND
81	TER-81	250	460	ND	ND

**3.12.6. Severidad de explosión**

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	K <sub>st</sub> (bar.m/s)
74	TER-74	4,5	30	8
75	TER-75	7,0	150	40
76	TER-76	5,2	60	16
77	TER-77	0,7	18	4
78	TER-78	6,9	173	46
79	TER-79	2,4	15	4
80	TER-80	4,6	40	10
81	TER-81	4,9	30	8

### 3.12.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	Tipo	Resultado
TER-74	N	N.P.
TER-75	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-76	R	N.P.
TER-77	N	N.P.
TER-78	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-79	R	N.P.
TER-80	N	N.P.
TER-81	N	N.P.

### 3.12.8. Indices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-74	-	1,18	52
TER-75	0,001	2,89	58
TER-76	-	1,25	48
TER-77	-	1,01	52
TER-78	0,11	3,18	59
TER-79	-	1,12	38
TER-80	-	1,26	58
TER-81	-	1,23	61

### 3.13. Mina Carmen y Pura

#### 3.13.1. Toma de muestras

Se trata de una mina a cielo abierto, lo que implica un planteamiento diferente a la hora de tomar las muestras. En efecto, al no haber frentes de avance en guías, ni cuarteles, ni transferencias de cintas, ni bifurcaciones, ni puertas de ventilación, ni galerías adyacentes, etc. el muestreo es diferente. Por ello, de las 19 muestras que se tomaron en esta mina, 18 corresponden a muestras de tipo roza y sólo una equivale a una muestra de tipo natural. Las muestras de roza se obtuvieron, en su mayoría, a partir de registros efectuados en los bancos por una retroexcavadora, en dirección perpendicular a la de las capas; una vez descubiertas las capas, las muestras se tomaron ajustándose a una roza perpendicular a la capa, abarcando toda su potencia. Por otro lado, la muestra natural procede de polvo de carbón de diferentes bancos, mezclado con estéril y depositado después de haber sido levantado durante la extracción y la carga.

Con este planteamiento, el día 27 de Junio de 1990 se procedió a la toma de muestras. En la siguiente tabla se detallan las características de las muestras tomadas.

Etiqueta	Descripción
TER-82	Natural. Polvo sucio, mezcla diferentes capas.
TER-83	Roza. Capa E, parte central.
TER-84	Roza. Capa E, a 30 m Este de TER-83.
TER-85	Roza. Capa E, a 30 m Oeste de TER-83.
TER-86	Roza. Capa E, a 50 m Oeste de TER-83.
TER-87	Roza. Capa E, idem TER-86, expuesto aire 24 h.
TER-88	Roza. Capa D6, parte central. Registro. Techo.
TER-89	Roza. Capa D5, parte central. Registro.
TER-90	Roza. Capa D4, parte central. Registro.
TER-91	Roza. Capa D3, parte central. Registro.
TER-92	Roza. Capa D2, parte central. Registro.
TER-93	Roza. Capa D1, parte central. Registro. Muro.

Etiqueta	Descripción
TER-94	Roza. Capa G, zona Oeste.
TER-95	Roza. Capa G, parte central, a 40 m TER-94.
TER-96	Roza. Capa G, a 25 m Este de TER-95.
TER-97	Roza. Capa F, parte central. Registro. Medio.
TER-98	Roza. Capa F, parte central. Registro. Muro.
TER-99	Roza. Capa F, parte central. Registro. Techo.
TER-100	Roza. Capa F, parte Oeste. Paquete completo.

### 3.13.2. Granulometría

En la figura del Anexo 2 se representa la distribución granulométrica de las muestras naturales.

## 3.13.3. Análisis elemental

Muestra	Etiqueta	Carbono(%)	Hidrógeno(%)	Azufre (%)
82	TER-82	28,92	4,41	3,70
83	TER-83	60,80	4,48	4,10
84	TER-84	52,73	4,20	3,85
85	TER-85	63,17	4,57	3,90
86	TER-86	61,91	4,94	7,80
87	TER-87	47,11	3,88	3,90
88	TER-88	46,99	3,76	6,60
89	TER-89	56,47	4,29	4,50
90	TER-90	41,79	3,44	7,40
91	TER-91	32,46	3,04	10,85
92	TER-92	43,93	3,52	5,35
93	TER-93	42,40	3,37	7,50
94	TER-94	32,27	2,60	15,00
95	TER-95	57,45	3,96	1,90
96	TER-96	59,28	4,16	2,35
97	TER-97	30,46	2,83	5,80
98	TER-98	37,45	3,04	7,30
99	TER-99	39,65	3,09	9,85
100	TER-100	48,14	3,46	3,60

## 3.13.4. Análisis inmediato

Muestra	Etiqueta	Volátiles(%)	Cenizas(%)	Humedad(%)	CO <sub>2</sub> (%)
82	TER-82	23,05	36,60	19,40	0,09
83	TER-83	40,00	11,45	1,50	0,04
84	TER-84	39,05	18,55	6,35	0,97
85	TER-85	35,65	7,05	9,50	0,13
86	TER-86	40,40	4,70	6,10	0,03
87	TER-87	35,20	24,65	5,15	0,44
88	TER-88	32,75	24,50	4,75	0,06
89	TER-89	38,00	13,50	2,30	0,00
90	TER-90	33,30	29,95	1,60	0,04
91	TER-91	32,50	32,05	1,55	0,23
92	TER-92	34,05	31,55	0,55	0,22
93	TER-93	34,10	30,45	0,55	0,31
94	TER-94	31,80	37,75	0,70	0,18
95	TER-95	37,05	18,25	1,40	0,14
96	TER-96	40,10	14,05	1,25	0,09
97	TER-97	27,65	44,95	1,75	0,83
98	TER-98	31,85	37,30	0,60	0,15
99	TER-99	34,15	32,65	0,75	0,27
100	TER-100	33,10	28,45	1,25	0,20

## 3.13.5. Sensibilidad a la inflamación

Muestra	Etiqueta	TMic (°C)	TMin (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)
82	TER-82	240	460	ND	ND
83	TER-83	220	440	93	310
84	TER-84	230	460	93	620
85	TER-85	220	480	62	30
86	TER-86	230	510	62	40
87	TER-87	220	440	93	5000
88	TER-88	210	400	155	ND
89	TER-89	210	400	93	400
90	TER-90	220	420	1120	ND
91	TER-91	220	400	186	ND
92	TER-92	230	420	155	ND
93	TER-93	220	420	186	ND
94	TER-94	240	440	680	ND
95	TER-95	240	460	124	140
96	TER-96	230	460	93	40
97	TER-97	240	440	ND	ND
98	TER-98	220	420	490	ND
99	TER-99	210	420	217	ND
100	TER-100	230	460	186	ND

## 3.13.6. Severidad de explosión

Muestra	Etiqueta	PME (bar)	VMAP (bar/s)	Kst (bar.m/s)
82	TER-82	2,4	18	4
83	TER-83	7,7	223	60
84	TER-84	7,3	163	44
85	TER-85	8,1	283	76
86	TER-86	8,2	258	70
87	TER-87	7,4	135	36
88	TER-88	7,4	173	46
89	TER-89	6,8	165	44
90	TER-90	6,3	100	27
91	TER-91	6,1	193	52
92	TER-92	5,9	83	22
93	TER-93	6,0	113	30
94	TER-94	3,6	48	13
95	TER-95	6,7	148	40
96	TER-96	7,2	178	48
97	TER-97	3,6	35	9
98	TER-98	5,0	70	19
99	TER-99	5,5	80	21
100	TER-100	6,3	105	28

## 3.13.7. Aptitud a la propagación

Etiqueta	TIPO	RESULTADO
TER-82	N	N.P.
TER-83	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-84	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-85	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-86	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-87	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-88	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-89	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-90	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-91	R	N.P.
TER-92	R	P.C.; TUBO 2 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-93	R	P.P.; TUBO 2 m
TER-94	R	N.P.
TER-95	R	P.C.; TUBO 4 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-96	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-97	R	N.P.
TER-98	R	N.P.
TER-99	R	P.C.; TUBO 6 m; 500 g/m <sup>3</sup>
TER-100	R	N.P.

## 3.13.8. Índices de explosividad

Etiqueta	Ind. Pittsburgh	I.Canónico	% Estéril
TER-82	-	1,12	59
TER-83	0,08	3,14	65
TER-84	0,03	3,06	65
TER-85	1,44	3,10	65
TER-86	0,94	3,04	67
TER-87	0,002	2,88	62
TER-88	-	2,40	60
TER-89	0,04	3,17	65
TER-90	-	2,12	59
TER-91	-	2,34	60
TER-92	-	2,29	58
TER-93	-	2,29	58
TER-94	-	2,05	54
TER-95	0,07	3,05	62
TER-96	0,42	3,09	65
TER-97	-	1,21	51
TER-98	-	2,19	55
TER-99	-	2,26	57
TER-100	-	2,23	58

#### 4. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis de los datos se ha empleado la biblioteca de programas estadísticos BMDP. Esta biblioteca proporciona una gran variedad de posibilidades analíticas, que van desde representaciones gráficas y descripción sencilla de datos hasta técnicas estadísticas avanzadas. Los programas de la BMDP, denominados Programas Biomédicos, fueron originalmente desarrollados en el Centro de Cálculo de Ciencias Sanitarias de la Universidad de California, en 1.961. Casi cada año se aumenta el número de programas disponibles y se mejoran sus características. Así, a la biblioteca inicial BMD se le incorporó en 1.968 su lenguaje de control específico, y en 1.977 la biblioteca pasó a estar disponible para distintos usuarios con mejoras y simplificaciones sustanciales. La actual sintaxis de la BMDP es muy flexible, al no estar estrictamente especificadas las columnas que se van a usar en las sentencias de control, proporcionando, además, la posibilidad de hacer análisis repetitivos con los mismos datos o análisis similares de series de múltiples datos con sólo fijar un número mínimo de instrucciones de control.

La versión de la BMDP empleada en este trabajo ha sido la de 1.990, que incorpora 43 programas diferentes. Los datos se analizan normalmente según una serie de pasos iterativos en los que se examinan y se modifican si es necesario. En primer lugar, se examinan los datos para comprobar si hay valores numérica o gráficamente poco razonables. En tal caso, se verifican los valores y, si es posible, se corrigen. El análisis tiene lugar a partir de ese momento, identificando otras posibles observaciones inconsistentes o indicando que se precisan análisis posteriores. Los programas BMDP están diseñados para seguir todos los pasos en el análisis, desde los más sencillos a los más complicados.

En el estudio realizado con los datos de las explotaciones de Teruel se han empleado, fundamentalmente, los siguientes programas:

- 2D: Descripción detallada de datos.
- 2M: Análisis de agrupamientos (cluster).
- 6M: Análisis de la correlación canónica.
- 7M: Análisis discriminante (stepwise).
- KM: Análisis de agrupamientos según medias en K grupos.

La finalidad de este análisis era encontrar relaciones entre los numerosos datos obtenidos, buscar la existencia de algún tipo de ley capaz de relacionar los valores obtenidos con las características geológicas de la capa de carbón o de la procedencia del yacimiento, agrupar los datos para establecer correspondencias entre valores numéricos de los análisis químicos y de los parámetros de explosividad con los orígenes de los respectivos carbones, tratar de encontrar correlaciones entre explosividad y zonas carboníferas, buscando, en definitiva, identificar el riesgo de explosión de las diferentes capas de carbón.

#### 4.1. Descripción detallada de los datos

El programa proporciona una gran variedad de estadísticos descriptivos, generando un histograma simplificado para cada variable. Calcula la frecuencia, porcentaje y porcentaje acumulado de cada uno de los diferentes valores. Es muy adecuado para analizar y tamizar los datos, para identificar valores anómalos, para estudiar la forma de la distribución y para obtener una descripción inicial de las muestras.

Para cada variable, se calcula la media, la mediana, la moda, la desviación típica, los errores de la media y la mediana, el sesgo, los valores extremos, la mitad del rango intercuartiles y los intervalos superior e inferior del 95 % de confianza para la media. Se pueden calcular, además, otros estadísticos más avanzados.

Con los datos analizados se observa, en primer lugar, que existe una variación importante de casi todas las variables, es decir, los valores de los distintos casos (muestras) abarcan intervalos, en general, muy amplios. Así, por ejemplo, al tratar los datos de los cien casos se observan los siguientes valores de algunas de las variables:

- Carbono:

Valor máximo	=	75,9
Valor mínimo	=	15,4
Media	=	43,6
Desviación Típica	=	13,0
Moda	=	no única

- Cenizas:

Valor máximo	=	68,2
Valor mínimo	=	3,1
Media	=	30,1
Desviación Típica	=	14,5
Moda	=	no única

- M. Volátiles:

Valor máximo	=	40,4
Valor mínimo	=	13,7
Media	=	28,7
Desviación Típica	=	5,9
Moda	=	no única

- CME:

Valor máximo	=	5000
Valor mínimo	=	60
Media	=	2161
Desviación Típica	=	2339
Moda	=	5000

## - PME:

Valor máximo	=	850
Valor mínimo	=	50
Media	=	604
Desviación Típica	=	183
Moda	=	no única

En muchos de los histogramas que el programa proporciona, aunque son bastante rudimentarios, se podía observar una distribución de los datos repartidos en dos grupos, de forma que aparecen dos modas diferentes.

Al realizar el mismo estudio por separado para las muestras de roza y para las naturales, se pudo comprobar que los datos eran ahora más homogéneos dentro de cada grupo y, a la vez, los grupos quedaban bien diferenciados. Esto se puede ver claramente con los datos de Materias Volátiles o los de CME:

## - M. Volátiles:

ROZA		NATURALES	
Valor máximo	= 40,4	Valor máximo	= 35,6
Valor mínimo	= 21,5	Valor mínimo	= 13,7
Media	= 32,1	Media	= 24,1
Desviación Típica	= 4,6	Desviación Típica	= 4,3
Moda	= 38,0	Moda	= 23,0

## - CME:

ROZA		NATURALES	
Valor máximo	= 5000	Valor máximo	= 5000
Valor mínimo	= 63	Valor mínimo	= 93
Media	= 679	Media	= 4210
Desviación Típica	= 1492	Desviación típica	= 1646
Moda	= 93	Moda	= 5000

Esto indica, claramente, que los dos tipos de muestras ofrecen dos gamas de valores distintos, consecuencia de su diferente naturaleza. Además, las muestras naturales presentan mayores contenidos en cenizas y en humedad y menores porcentajes de volátiles y de contenido en carbono. Como consecuencia de estas diferencias generales en la composición, en los parámetros de explosividad también se encuentran diferencias: las muestras naturales tienen, en general, valores más altos de TMI, CME y EMI (es decir, son menos sensibles a la inflamación) y menores valores de PME y VMAP (es decir, producen menor severidad de explosión).

#### 4.2. Análisis de agrupamientos de casos

El programa forma agrupamientos jerarquizados de los casos (las muestras), en función de las distancias entre las variables. Inicialmente, cada caso se considera como un grupo separado; a éste se le van añadiendo casos o grupos de casos mediante un proceso iterativo hasta que todos los casos quedan combinados formando un único grupo, con aspecto de racimo o árbol ramificado (cluster). El algoritmo emplea la distancia entre los centroides de los clusters o la distancia hasta el k-ésimo vecino más cercano para amalgamar los clusters. Se obtiene de esta manera un dendograma, o diagrama de tipo árbol, que describe la secuencia de formación de los grupos, así como una representación de las distancias entre casos, en forma de matriz sombreada.

Al emplear esta técnica con los datos de las cien muestras de Teruel, no se encontró ningún agrupamiento claro de los casos. A priori, podría esperarse que los casos se agruparan de alguna forma, cuyo significado estuviera ligado a los orígenes geológicos de los carbones, a la ubicación de las minas, a las composiciones de las capas, etc. Sin embargo, nada de eso ocurrió. Sólo se encontró un cierto agrupamiento de muestras de roza, por un lado, y naturales, por otro, no siendo la separación suficientemente clara; además se pudieron detectar algunos datos anómalos (outliers), que fueron corregidos.

A la vista de esto, se decidió buscar agrupamientos sólo con las muestras de roza, en las que las variaciones de composición deben ser menos importantes (hay menos agentes aleatorios externos contaminantes) y, en consecuencia, los parámetros de explosividad deben ser menos dispersos. Realizado el análisis, se encontró que ahora sí había un agrupamiento de los casos, lo que se apreciaba claramente en la matriz sombreada de distancias, que se reproduce a continuación.

En ella se distinguen tres grupos de muestras (se omite el prefijo "TER-" para simplificar la escritura:

- Primer grupo: 1, 70, 76, 97, 79, 68.
- Segundo grupo: 7, 33, 12, 20, 35, 8, 11, 39, 31, 85, 86, 49, 50, 45, 21, 43, 83, 95, 67, 56, 84, 96, 44, 87, 75, 42, 54, 16, 51, 78, 89, 59, 62, 58.
- Tercer grupo: 94, 88, 91, 92, 98, 99, 93, 90, 27, 69, 100, 37, 23, 25, 26, 15, 29, 3.

\*\*\* NOTE \*\*\* DISTANCES BETWEEN CASES REPRESENTED IN SHADED FORM.  
HEAVY SHADING INDICATES SMALL DISTANCES.

CASE NO.	CASE LABEL	
1	T1	X
36	70	-X
38	76	--X
55	97	-+XX
40	79	-X+XX
34	68	++XXXXX
3	7	X
17	33	XX
6	12	XXX
9	20	XXXX
18	35	XXXXX
4	8	XXXXXX
5	11	XXXXXXX
20	39	XX+XXXXX
16	31	XXXXXXXX
43	85	++XXXX+XXX
44	86	++XXXX+XXXX
25	49	+++XXX+XXXXX
26	50	+++++++XXXXX
24	45	-----+XXXXXX
10	21	+++++++XXXXX+X
22	43	++XXXXX+XXX++XX
41	83	+XXXX+XXXXXXXXXX
53	95	-----+XXXX
33	67	-----XXXX+XXXX
29	56	-----XX+X+XXXXXX
42	84	-----XXXXX+XXXXXXXX
54	96	-----XXXXX+XXXXXXXXXX
23	44	++XXXX+XXXXX+XXXXXXXXXX
45	87	-.+---+X+X+XXXXXXXXXX
37	75	-----+X+XX+XXXXXXXXXX
21	42	+++++XXXXXXXX+X+XXXXXX+X
28	54	-----+XXX+X+XXXXXXXXXX
8	16	-----+X+XXXXXXXXXX
27	51	-----+XXXXX+-----X
39	78	-.+---+-----XXXXXXXXXX+++X
47	89	..+---+-----XX+XX+XXX-+.XX
31	59	..+---+-----+-----XXX
32	62	..+---+-----X+-----XXX
30	58	..+---+-----+-----+XXX
52	94	..+---+-----+-----X
46	88	..+---+-----+-----+X
49	91	..+---+-----+-----+XX
50	92	..+---+-----+-----+X+XX
56	98	..+---+-----+-----+X+XXX
57	99	..+---+-----+-----+XXXXX
51	93	..+---+-----+-----+XXXXXX
48	90	..+---+-----+-----+XXXXXXXX
14	27	..+---+-----+-----X
35	69	..+---+-----+-----X+X+X+X
58	100	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X
19	37	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X
11	23	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X+X
12	25	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X+X+X
13	26	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X+X+X+X
7	15	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X+X+X+X+X
15	29	..+---+-----+-----X+X+X+X+X+X+X+X+X+X+X+X
2	3	..+---+-----+-----+-----+XXXXX

THE DISTANCES HAVE BEEN REPRESENTED ABOVE IN SHADED FORM ACCORDING TO THE FOLLOWING SCHEME

X	FROM	LESS THAN	TO
+	1.814	2.592	1.814
-	2.592	3.317	2.592
.	3.317	4.302	3.317

### 4.3. Agrupamiento de los casos por sus valores medios

El método consiste en obtener una partición de los casos formando grupos. Al final del proceso, cada caso pertenece al grupo cuyo centro está más cerca de ese caso, según su distancia Euclídea. El centro de un grupo se define como la media de todos los casos contenidos en ese grupo. De esta forma se obtiene información sobre el papel que cada variable desempeña en el grupo.

El programa comienza con un número de grupos especificado a voluntad o con un único grupo, que se va dividiendo repetidamente hasta que se obtiene el número de grupos deseado (K). Los casos se reubican de forma iterativa en el grupo cuyo centro está más próximo a cada caso. Una vez completado el agrupamiento, a cada caso se le puede asignar una variable indicativa del grupo al que pertenece.

Al haber obtenido una agrupación de las muestras de roza (las naturales no se van a tener en cuenta en lo que resta del estudio estadístico) en tres grupos, se realizó este estudio para K=3 y referido sólo a las variables de explosividad (parámetros TMIn, TMic, CME, EMI, PME y VMAP).

Los tres grupos obtenidos fueron los siguientes:

- Primer grupo: 1, 68, 70, 76, 79, 97.
- Segundo grupo: 7, 8, 11, 12, 20, 31, 33, 35, 39, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 62, 67, 75, 78, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 95, 96, 21.
- Tercer grupo: 3, 15, 23, 25, 26, 27, 29, 37, 69, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 99, 100, 16.

Como puede apreciarse, esta clasificación coincide plenamente con la anterior, con la única salvedad de la muestra 16, que aquí se clasifica en el tercer grupo, mientras que en la clasificación anterior aparecía en el segundo grupo.

Los valores medios de estos grupos son los siguientes:

Grupo	Tamaño	TMIn	TMic	CME	EMI	PME	VMAP
1	6	477	252	5000	16000	335	3383
2	33	456	227	96	1106	759	24864
3	19	465	236	326	15489	619	13084

A la vista de estos valores, está claro que el grupo número 1 corresponde a las seis muestras de menor explosividad (valores más altos de los parámetros de sensibilidad y valores más bajos de los parámetros de severidad), el grupo 2 corresponde a las treinta y tres muestras de mayor explosividad y el grupo número 3 a las diecinueve muestras de explosividad intermedia, por lo que pueden denominarse, respectivamente, grupos BAJO, ALTO y MEDIO (explosividad baja, alta y media).

Esta clasificación se aprovechó en la siguiente etapa del estudio estadístico.

#### 4.4. Análisis discriminante

El análisis discriminante consiste en encontrar la combinación de variables que mejor predice la categoría o grupo al que un caso pertenece. Debe conocerse la identificación del grupo para cada caso empleado en el análisis. La combinación de variables predictoras se denomina función de clasificación. Esta función puede usarse para clasificar casos nuevos de los que se desconoce a qué grupo pertenecen. El programa elige las variables que se emplean en formar las funciones lineales de clasificación de forma ordenada, siguiendo pasos lógicos; en cada iteración, se introduce en la función discriminante la variable que proporciona una mayor separación entre los grupos, o se elimina la variable que aporta menor separación. Se obtiene así una evaluación del número de casos clasificados correctamente y se pueden clasificar casos distintos de los empleados en el proceso de cálculo.

Teniendo en cuenta la clasificación anterior por explosividad de las muestras, se procedió a estudiar las variables del análisis químico de los carbones que mejor podían separar ese comportamiento. Las variables ahora estudiadas son: Carbono, Hidrógeno, Azufre, Cenizas, Volátiles y Humedad.

Al comenzar el análisis, aparecen los valores de la F de Fisher de las seis variables:

- Humedad:	1,15
- Cenizas:	137,05
- Volátiles:	38,94
- Azufre:	6,09
- Carbono:	85,36
- Hidrógeno:	52,24

Como puede verse, la variable que proporciona una mejor separación son las cenizas, teniendo el carbono un peso muy importante y siendo el hidrógeno y los volátiles las siguientes variables que mejor discriminan.

Al introducir el efecto de las cenizas como primera variable discriminante, la tabla anterior cambia totalmente, produciéndose una bajada drástica de los valores de todas las F:

- Humedad:	0,01
- Volátiles:	0,71
- Azufre:	4,58
- Carbono:	2,64
- Hidrógeno:	3,73

¿Qué significa esto?. La interpretación es la siguiente: al introducir las cenizas como variable discriminante se hace desaparecer toda la influencia de las cenizas en la clasificación, de forma que las restantes variables que tenían una alta correlación con las cenizas pierden una gran parte de su poder discriminante: el carbono, que inicialmente tenía una  $F=85,36$  pasa a tener sólo una  $F=2,64$  cuando desaparece todo el efecto de las cenizas.

Puede verse fácilmente la estrechísima relación entre algunas de las variables del análisis químico mediante la matriz de correlaciones:

CARBONO HIDROG. AZUFRE HUMEDAD CENIZAS VOLATILES

CARBONO	1,00					
HIDROGENO	0,90	1,00				
AZUFRE	-0,50	-0,44	1,00			
HUMEDAD	0,10	0,14	-0,01	1,00		
CENIZAS	-0,96	-0,90	0,37	-0,21	1,00	
VOLATILES	0,73	0,82	-0,15	0,03	-0,81	1,00

De esta forma, descontada la influencia de las cenizas, el azufre pasa a ser la siguiente variable más significativa para la discriminación, aunque, como se puede comprobar, el efecto del azufre no mejora sensiblemente la función discriminante.

En efecto, al introducir las cenizas en el primer paso, se obtienen las siguientes funciones de clasificación:

	1 (BAJO)	2 (ALTO)	3 (MEDIO)
Cenizas	1,6754	0,5027	1,0967
Constante	-43,0604	-4,8758	-19,0787

Al introducir el efecto de las cenizas como primera variable discriminante, la tabla anterior cambia totalmente, produciéndose una bajada drástica de los valores de todas las F:

- Humedad:	0,01
- Volátiles:	0,71
- Azufre:	4,58
- Carbono:	2,64
- Hidrógeno:	3,73

¿Qué significa esto?. La interpretación es la siguiente: al introducir las cenizas como variable discriminante se hace desaparecer toda la influencia de las cenizas en la clasificación, de forma que las restantes variables que tenían una alta correlación con las cenizas pierden una gran parte de su poder discriminante: el carbono, que inicialmente tenía una  $F=85,36$  pasa a tener sólo una  $F=2,64$  cuando desaparece todo el efecto de las cenizas.

Puede verse fácilmente la estrechísima relación entre algunas de las variables del análisis químico mediante la matriz de correlaciones:

	CARBONO	HIDROG.	AZUFRE	HUMEDAD	CENIZAS	VOLATILES
CARBONO	1,00					
HIDROGENO	0,90	1,00				
AZUFRE	-0,50	-0,44	1,00			
HUMEDAD	0,10	0,14	-0,01	1,00		
CENIZAS	-0,96	-0,90	0,37	-0,21	1,00	
VOLATILES	0,73	0,82	-0,15	0,03	-0,81	1,00

De esta forma, descontada la influencia de las cenizas, el azufre pasa a ser la siguiente variable más significativa para la discriminación, aunque, como se puede comprobar, el efecto del azufre no mejora sensiblemente la función discriminante.

En efecto, al introducir las cenizas en el primer paso, se obtienen las siguientes funciones de clasificación:

	1 (BAJO)	2 (ALTO)	3 (MEDIO)
Cenizas	1,6754	0,5027	1,0967
Constante	-43,0604	-4,8758	-19,0787

que proporcionan la siguiente matriz de clasificación:

	BAJO	ALTO	MEDIO
BAJO (100%)	6	0	0
ALTO (93,9%)	0	31	2
MEDIO (89,5%)	1	1	17

con los siguientes casos mal clasificados:

TER-75 es ALTO y lo clasifica como MEDIO  
 TER-87 es ALTO y lo clasifica como MEDIO  
 TER-15 es MEDIO y lo clasifica como BAJO  
 TER-69 es MEDIO y lo clasifica como ALTO

Al introducir el azufre en la función discriminante, la matriz de clasificación no se modifica y, únicamente, en las funciones de clasificación aparece un término correspondiente a esta nueva variable.

Se observa que en el grupo MEDIO el contenido en azufre alcanza un valor promedio en torno al 7%, mientras que en los grupos ALTO y BAJO el contenido en azufre ronda el 5%.

En el contexto de todos los carbones de España o, al menos, en una población de carbones representativa, se encontró en un estudio previo que los contenidos altos en azufre solían ir asociados a carbones de explosividad alta. El motivo era claro: los carbones de Teruel tienen explosividad alta y todos ellos tienen contenidos en azufre muy altos al compararlos con el resto de España.

Sin embargo, dentro de una población de carbones exclusivamente de Teruel, en la que todas las muestras tienen ya un alto contenido en azufre, el porcentaje de este elemento parece no tener una correlación tan clara con la explosividad.

El significado de las cenizas es, pues, muy claro en cuanto a su marcada y fundamental influencia en la explosividad de las muestras de carbón de Teruel.

El azufre no tiene una interpretación tan clara y, en cualquier caso, su influencia es despreciable frente a la de las cenizas.

#### 4.5. Análisis de la correlación canónica

El análisis de la correlación canónica examina las relaciones lineales entre dos series de variables buscando varias combinaciones lineales de las variables "x" y el mismo número de combinaciones lineales de las variables "y", de forma que estas combinaciones lineales

expliquen lo mejor posible las correlaciones entre las dos series. Las combinaciones lineales se denominan variables canónicas y las correlaciones entre ellas se llaman correlaciones canónicas. Este procedimiento puede interpretarse como una extensión de la regresión múltiple y el análisis de la correlación en el que se emplean grupos de variables en lugar de una única variable dependiente.

El método se inicia buscando una combinación lineal de las "y"

$$c_1(y) = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_k y_k$$

y una combinación lineal de las "x"

$$c_1(x) = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

donde los coeficientes a y b se seleccionan para maximizar la correlación entre  $c_1(y)$  y  $c_1(x)$ . Las combinaciones lineales  $c_1(y)$  y  $c_1(x)$  se denominan primeras variables canónicas para las "y" y para las "x", respectivamente, y la correlación entre ellas se llama primera correlación canónica.

A continuación, se obtiene una segunda serie de variables canónicas,  $c_2(y)$  y  $c_2(x)$ , que son independientes de (no están correlacionadas con)  $c_1(y)$  y  $c_1(x)$ . Además, los coeficientes de este segundo par se seleccionan para maximizar la correlación entre  $c_2(y)$  y  $c_2(x)$ . El programa puede continuar buscando pares de variables canónicas que sean independientes de los pares anteriores, hasta que se tengan tantos pares como el número de variables en la menor de las dos series.

Esta técnica se empleó hace ya algunos años en el LOM, obteniendo unos resultados satisfactorios, tal y como se explicó en el párrafo 3.1.5. c). Con los datos obtenidos en este estudio se ha procedido a seguir el mismo análisis, buscando una nueva correlación entre explosividad y composición, centrada, en este caso, en las características propias de los carbones de Teruel.

En un primer análisis, se encontró que la variable TMI<sub>n</sub> presentaba unos coeficientes de correlación muy bajos en la variable canónica de explosividad, al igual que las variables Azufre y Humedad tenían un peso muy pequeño en la variable canónica de composiciones.

Con el fin de mejorar y simplificar simultáneamente la correlación canónica, se hizo un segundo análisis prescindiendo de esas tres variables. Se obtuvieron así las dos variables canónicas siguientes:

$$\begin{aligned}
 VC1 = & 0,294 \frac{CME-678,7}{1492,5} + 0,506 \frac{EMI-7358,4}{7503,1} - \\
 & - 0,248 \frac{PME-669,5}{152,9} - 0,112 \frac{VMAP-18782,8}{10356,7} \\
 VC2 = & 0,050 \frac{CARBONO-49,30}{12,16} + 0,243 \frac{HIDROGENO-3,58}{0,643} + \\
 & + 1,263 \frac{CENIZAS-24,47}{13,14} + 0,002 \frac{VOLATILES-32,05}{4,598}
 \end{aligned}$$

La correlación entre estas dos variables es superior al 94 % y las correlaciones de cada una de ellas con las variables originales son las siguientes:

	VC1		VC2
CME	0,79	CARBONO	-0,95
EMI	0,89	HIDROGENO	-0,85
PME	-0,92	CENIZAS	0,99
VMAP	-0,83	VOLATILES	-0,79

Debe llamarse la atención sobre los signos: VC1 aumenta cuando CME o EMI aumentan (menor sensibilidad a la inflamación) y cuando PME o VMAP disminuyen (menor severidad de explosión), es decir, VC1 aumenta cuando la explosividad disminuye. Por su parte, VC2 aumenta con las cenizas y disminuye con los volátiles, el carbono y el hidrógeno. En consecuencia, y como era previsible, la explosividad disminuye cuando aumentan las cenizas y disminuyen los volátiles, el carbono y el hidrógeno.

En el aspecto cuantitativo, es importante notar los altísimos pesos que tienen los contenidos en cenizas y en carbono. En concreto, se ve cómo las cenizas tienen mayor influencia que los volátiles en la explosividad. Esto, en principio, podría resultar extraño, sobre todo cuando en diferentes países las clasificaciones reglamentarias de explosividad de carbones se hacen atendiendo a los volátiles de éstos.

MUESTRA	VC1
TER-1	1,951
TER-3	0,781
TER-7	-1,132
TER-8	-1,096
TER-11	-0,665
TER-12	-0,972
TER-15	0,725
TER-16	-0,125
TER-20	-1,044
TER-21	-0,217
TER-23	0,437
TER-25	0,511
TER-26	0,378
TER-27	0,720
TER-29	0,591
TER-31	-0,936
TER-33	-1,115
TER-35	-1,022
TER-37	0,428
TER-39	-0,937
TER-42	-0,747
TER-43	-0,723
TER-44	-0,728
TER-45	-0,829
TER-49	-0,790
TER-50	-0,691
TER-51	-0,923
TER-54	-0,501
TER-56	-0,648
TER-58	-0,887
TER-59	-0,716
TER-62	-0,556
TER-67	-0,431
TER-68	2,084
TER-69	0,564
TER-70	2,596
TER-75	-0,311
TER-76	1,816
TER-78	-0,618
TER-79	2,320
TER-83	-0,792
TER-84	-0,641
TER-85	-0,947
TER-86	-0,935
TER-87	-0,332
TER-88	0,380
TER-89	-0,577
TER-90	0,829
TER-91	0,576
TER-92	0,722
TER-93	0,679
TER-94	1,237
TER-95	-0,553
TER-96	-0,680
TER-97	2,103
TER-98	0,948
TER-99	0,802
TER-100	0,639

Esta tabla puede escribirse ordenando las muestras de menor a mayor valor de  $VC1$ , es decir, empezando por la de mayor explosividad y terminando por la menos explosiva.

Esto es, precisamente, lo que se ha hecho en la siguiente tabla, en la que, además se ha incluido una tercera columna en la que se identifica la procedencia de cada muestra, según el siguiente código:

A = Ariño-Andorra  
C = Castellote  
E = Estercuel-Gargallo-Cañizar  
U = Utrillas-Escucha-Rillo-Aliaga  
F = Foz-Calanda

Como puede verse, no hay relación entre las procedencias de las muestras y la ordenación según la explosividad.

En esta misma tabla se puede observar otro hecho muy interesante: si se eligen los siguientes valores de corte para  $VC1$ :  $<0$ ,  $0-1$ ,  $>1$ , la tabla queda dividida en tres grupos:

- el superior, con valores de  $VC1$  negativos ( $VC1 < 0$ ), corresponde exactamente al grupo ALTO (segundo grupo) definido en el párrafo 4.2

- el intermedio, con valores de  $VC1$  comprendidos entre 0 y 1, corresponde al grupo MEDIO, con la salvedad de la muestra TER-94, que aquí no aparece.

- el inferior, con valores de  $VC1$  mayores que 1, corresponde al grupo BAJO, al que se le ha añadido la muestra TER-94, procedente del anterior.

Puede verse, por tanto, que hay una correspondencia muy importante entre las tres clasificaciones: agrupamiento de casos (párrafo 4.2), agrupamiento por valores medios (párrafo 4.3) y la clasificación por la variable canónica que se acaba de definir.

Pero aún pueden encontrarse más coincidencias. En efecto, al aplicar a las muestras de Teruel la variable canónica de explosividad general, válida para todos los carbones de España (definida en 3.1.5. c), se ha visto cómo todos los carbones de Teruel resultaban con riesgo medio o alto (zonas A o B del diagrama canónico. Ver tablas correspondientes en el capítulo 3). Esto es así porque en el contexto de toda España, los carbones de Teruel nunca quedan como con riesgo bajo.

Como ahora se están diferenciando tres niveles diferentes de explosividad sólo para los carbones de Teruel, se están obteniendo tres niveles de donde, inicialmente, sólo había dos.

Dicho de otra forma, la clasificación dada en el párrafo 4.3 (agrupamientos por valores medios) concuerda perfectamente con la clasificación por variables canónicas realizada sobre la variable de parámetros de explosividad (la definida en 3.1.5. c como VC11) referida a todas las muestras de España. Para ello, simplemente habrá que cambiar los valores de corte de VC11 que entonces se definieron, adoptando los siguientes:

explosividad alta:  $IE > 2,5$   
 explosividad media:  $1,3 < IE < 2,5$   
 explosividad baja:  $IE < 1,3$

(recuérdese que  $IE = 2.0 - VC11$ )

con esto se obtendrá lo que se podría denominar un diagrama de correlación canónica general (referido a todos los carbones) corregido.

Con el fin de aclarar estas ideas, en la siguiente tabla se recogen las diferentes clasificaciones:

- DCCG: clasificación según el diagrama de la correlación canónica general (aplicable a todos los carbones de España). La clasificación "A" corresponde a la zona inferior del diagrama, es decir, la zona de riesgo ALTO. La "M" corresponde a la zona intermedia del diagrama, o zona de riesgo MEDIO.
- DCCG-C: la misma clasificación que la anterior, pero con los valores nuevos de corte de VC11 que se acaban de definir, es decir, es una clasificación general corregida. Niveles ALTO, MEDIO y BAJO.
- DCCT: clasificación según el diagrama de correlación canónica específica para Teruel (definida antes en este mismo apartado). Niveles ALTO, MEDIO y BAJO.
- BMDP2M: clasificación según el agrupamiento de casos, definido en 4.2. Niveles ALTO, MEDIO y BAJO.
- BMDPKM: clasificación según el agrupamiento por valores medios, definido en 4.3. Niveles ALTO, MEDIO y BAJO.
- PROP: se ha añadido esta última columna, que corresponde a la clasificación que se puede establecer teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de propagación. Niveles ALTO (propagación completa), MEDIO (propagación parcial) y BAJO (no se produce propagación).

Como puede observarse en esta tabla resumen, la clasificación es tremendamente coherente en las columnas segunda, tercera, cuarta y quinta. La primera columna es una clasificación más "estricta" (sólo hay niveles ALTO y MEDIO), debido al hecho ya citado de que corresponde a una clasificación aplicable a toda España. La última columna (propagación) da lugar a una clasificación ligeramente más "suave" (aparecen más "B" que en las columnas anteriores) debido a la naturaleza del propio ensayo de propagación.

En consecuencia, se pueden establecer tres niveles de explosividad en los carbones de Teruel, teniendo presente que el nivel BAJO significa menor explosividad que los otros niveles, pero significa también explosividad MEDIA, dentro del ámbito de carbones nacionales.

También puede verse en la tabla que hay algunas minas que tienen más muestras clasificadas como "A" que otras, en las que aparecen varias muestras clasificadas como "M" e incluso como "B". No obstante, debe llamarse la atención sobre el hecho de que en todas las explotaciones estudiadas aparece alguna muestra clasificada como "A".

Finalmente, y aunque ya se había visto antes que las muestras naturales introducían serios efectos aleatorios, se quiso comprobar la importancia de éstos realizando un análisis de la correlación canónica sobre las muestras naturales. Los resultados mostraron que todas las correlaciones entre explosividad y composición bajaban marcadamente e, incluso, aparecían coeficientes de correlación con signos cambiados respecto a los comportamientos esperados.

		DCCG	DCCG-C	DCCT	BMDP2M	BMDPKM	PROP
	TER-1	M	B	B	B	B	B
	TER-3	M	M	M	M	M	B
OPORTUNA	TER-7	A	A	A	A	A	A
	TER-8	A	A	A	A	A	A
	TER-11	A	A	A	A	A	A
	TER-12	A	A	A	A	A	A
INNOMINADA	TER-15	M	M	M	M	M	B
	TER-16	M	M	A	A	M	M
	TER-20	A	A	A	A	A	M
PATRICIA	TER-21	A	A	A	A	A	M
	TER-23	M	M	M	M	M	M
	TER-25	M	M	M	M	M	B
	TER-26	A	M	M	M	M	M
CANIZARA	TER-27	M	M	M	M	M	B
	TER-29	M	M	M	M	M	M
	TER-31	A	A	A	A	A	A
	TER-33	A	A	A	A	A	A
	TER-35	A	A	A	A	A	A
STA. MARIA	TER-37	A	M	M	M	M	A
	TER-39	A	A	A	A	A	A
	TER-42	A	A	A	A	A	A
	TER-43	A	A	A	A	A	A
POZO PILAR	TER-44	A	A	A	A	A	A
	TER-45	A	A	A	A	A	A
	TER-49	A	A	A	A	A	A
	TER-50	A	A	A	A	A	A
AUN HAY	TER-51	A	A	A	A	A	A
CASO	TER-54	A	A	A	A	A	A
	TER-56	A	A	A	A	A	A
	TER-58	A	A	A	A	A	A
MARIA	TER-59	A	A	A	A	A	A
	TER-62	A	A	A	A	A	A
	TER-67	A	A	A	A	A	A
	TER-68	M	B	B	B	B	B
CONCEPCION	TER-69	A	M	M	M	M	M
	TER-70	M	B	B	B	B	B
	TER-75	A	A	A	A	A	A
	TER-76	M	B	B	B	B	B
LUISA	TER-78	A	A	A	A	A	A
	TER-79	M	B	B	B	B	B
	TER-83	A	A	A	A	A	A
	TER-84	A	A	A	A	A	A
	TER-85	A	A	A	A	A	A
	TER-86	A	A	A	A	A	A
	TER-87	A	A	A	A	A	A
	TER-88	A	M	M	M	M	A
	TER-89	A	A	A	A	A	A
CARMEN Y	TER-90	A	M	M	M	M	M
PURA	TER-91	A	M	M	M	M	B
	TER-92	A	M	M	M	M	A
	TER-93	A	M	M	M	M	M
	TER-94	M	M	B	M	M	B
	TER-95	A	A	A	A	A	A
	TER-96	A	A	A	A	A	A
	TER-97	M	B	B	B	B	B
	TER-98	M	M	M	M	M	B
	TER-99	A	M	M	M	M	A
	TER-100	A	M	M	M	M	B

DCCG = Diagrama correlación canónica general  
DCCG-C = Diagrama correlación canónica general corregido  
DCCT = Diagrama correlación canónica Teruel  
BMDP2M = Agrupamiento de casos  
BMDPKM = Agrupamiento por medias  
PROP = Grado de propagación  
A = Alto                      M = Medio                      B = Bajo

## 5. CONCLUSIONES

- En los carbones de Teruel puede producirse la inflamación del polvo a temperaturas bajas, concentraciones reducidas y energías moderadas.
- En todas las muestras analizadas se observa tendencia a la inflamación en presencia de diversos focos energéticos, facilidad para la propagación de una explosión, así como importantes efectos dinámicos debidos a la presión de explosión. Sin embargo, la sensibilidad a la inflamación y la severidad de explosión presentan un rango muy amplio, lo que lleva a encontrar grandes variaciones en la explosividad de las distintas muestras.
- Las muestras de tipo roza y las de tipo natural tienen una significación bien diferenciada y aportan información complementaria. No obstante, no pueden mostrarse equiparables desde el punto de vista del análisis estadístico de los datos. En este sentido, la muestra de tipo roza es la más representativa. Las de tipo natural son, en general, más difíciles de tomar y la experiencia enseña que es también difícil adiestrar al personal para tomarlas adecuadamente. Se ha comprobado que este tipo de muestra se presta mucho más a enmascarar el resultado real o las tendencias generales, ya que, por su propia naturaleza, introduce una gran variedad de factores aleatorios (distribución de tamaños, humidificación irregular, adiciones esporádicas de sustancias o partículas ajenas, etc).
- Es necesario perfeccionar la técnica de recogida de muestras naturales ya que éstas deberán tenerse presentes debido a la información adicional que proporcionan sobre las características del estado bajo el que el polvo de carbón aparece depositado.
- En comparación con las muestras de tipo roza, las muestras naturales tienen, en general, valores más altos de TMI, CME y EMI (es decir, son menos sensibles a la inflamación) y menores valores de PME y VMAP (es decir, producen menor severidad de explosión).
- Las características de los análisis químicos de los carbones de Teruel están altísimamente correlacionadas entre sí, especialmente los contenidos en cenizas, carbono, hidrógeno y materias volátiles. Los contenidos en humedad y azufre muestran bajas correlaciones con el resto de los análisis.
- Todas las muestras de carbón de Teruel ensayadas presentan porcentajes de volátiles lo suficientemente elevados para ser consideradas como explosivas. Debido a ello y en contra de lo que se podría esperar, el contenido en materias volátiles no juega, por sí mismo, un papel decisivo en la clasificación del riesgo de explosión de los carbones de Teruel. Esto se debe a que todas las muestras presentan porcentajes de volátiles lo suficientemente elevados como para ser todas consideradas como explosivas.

- El contenido en azufre tampoco se muestra claramente correlacionado con la explosividad, dentro de los carbones de Teruel.
- El contenido en cenizas sí es fundamental a la hora de establecer diferencias en la explosividad, siendo posible separar grupos de diferente nivel de explosividad en función exclusivamente de las cenizas.
- Todas las muestras de tipo roza estudiadas se clasifican como con riesgo medio o alto, en el contexto de los carbones nacionales.
- Dentro de los carbones de Teruel es posible establecer una clasificación con tres niveles de explosividad, ampliando la clasificación general que les otorgaría sólo dos niveles (medio y alto) hasta esos tres nuevos niveles (BAJO, MEDIO y ALTO).
- Se ha comprobado que esa clasificación es prácticamente coincidente empleando diferentes herramientas estadísticas, lo que da mayor validez al método.
- No se encuentra una relación global entre la explosividad de los carbones de Teruel y el origen geológico de éstos, de manera que no es posible asignar diferentes niveles de peligrosidad a las capas por consideraciones exclusivamente geológicas (miembro de la serie al que pertenece la capa) o tectónicas (área o cubeta en la que se produjo la sedimentación).
- Sí existe, en cambio, una clara correlación entre la explosividad y la composición de los carbones, de forma que se puede establecer una variable canónica de composiciones empleando los contenidos en carbono, hidrógeno cenizas y materias volátiles, que explica en más del 94 % la variación de una variable canónica de explosividad, formada con los parámetros CME, EMI, PME y VMAP.
- En todas las explotaciones aparecen muestras clasificadas como con riesgo ALTO, siendo el número de éstas mayor en unas minas que en otras, pero sin poderse establecer una graduación atendiendo a las capas de carbón ni siquiera a las zonas de sedimentación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Durante estos tres años de trabajo, son muchas las personas, empresas e instituciones que han colaborado en la realización de diferentes tareas incluidas en el proyecto y que han hecho posible que se cumplieran rigurosamente todos los objetivos programados. Se agradece especialmente la aportación de:

- La Sección de Minas, del Servicio Provincial de Industria y Energía de Teruel, que, a través de Javier Hualde García, Juan Molina Planes y Javier San José han brindado una ayuda valiosísima en las tareas de campo.
- Las empresas mineras: ENDESA, Aragón Minero, SAMCA, Lignitos Castellote, Compañía General Minera de Teruel, Minas y Ferrocarriles de Utrillas, Minas Escucha y Minera Martín Aznar, que dieron todo tipo de facilidades y atenciones.
- La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid que ha dado todo su apoyo para poder llevar a cabo las diferentes tareas de este trabajo, en particular a Enrique Chacón Oreja por su asesoramiento y experta ayuda en el uso de las técnicas estadísticas, y Juan Llamas Borrajo por su colaboración en la interpretación de los análisis de los carbones.
- Todos los colaboradores del Laboratorio Oficial Madariaga que, de forma más directa, han intervenido en distintas etapas del proyecto, especialmente Gonzalo Alvarez de Diego y Mariano Pérez Calleja.
- El Departamento de Ingeniería Química y Combustibles de la E.T.S.I.M.M., que en todo momento ha facilitado su apoyo moral y material para la realización del proyecto.
- La Asociación de Investigación Tecnológica de Equipos Mineros, cuyo soporte informático ha permitido el tratamiento y análisis de los datos.
- Pascual León Marco, por su inestimable ayuda personal en todo momento y, especialmente, por el capítulo dedicado a la Geología de los lignitos de Teruel, extractado de su magnífica tesis doctoral.

**BIBLIOGRAFIA**

ABRAHAMSEN, A.R.; FIELD, P. Application of dust explosion pressure data to the sizing of explosion relief vents. Solidex 84. Solids handling conference, 1984.

ALCANTARA PEDREIRA, R.; GARCIA TORRENT, J. Small scale experiments for measuring coal dust explosion propagation. 22nd International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Beijing. Noviembre, 1987.

ALCANTARA PEDREIRA, R.; GONZALEZ GALLEG0, C.; GARCIA TORRENT, J. Explosiones de polvo. Industria Minera, N<sup>o</sup> 261, pp 41-46. Agosto-Septiembre, 1986.

BAKER, W.E. et al. Explosion hazards and evaluation. Elsevier, 1983.

BANERJEE, S.C. Spontaneous combustion of coal and mine fires. A.A. Balkema, 1985.

BARRERA, E. L. La catástrofe de Courrieres y otra explosión de polvo de carbón. Industria Minera, 221, 1982

BARTNECHT, W. Explosion course prevention protection. Springer-Verlag, 1981.

BEEVER, P.F. Spontaneous combustion. Building Research Establishment. Information paper. 1982.

BEEVER, P.F. Self heating. VDI Berichte Nr. 494, 151-159. 1984.

BARNARD, J.A.; BRADLEY, J.N. Flame and combustion. Chapman and Hall, 1984.

BODURTHA, F.T. Industrial explosion prevention and protection. McGraw-Hill, 1980.

BONE, W.A. TOWNEND, D.T. Flame and combustion in gases. Longmans, 1927.

BOWES, P.C.; TOWNSHEND, S.E. Ignition of combustible dusts on hot surfaces. Brit. Jour. Appl. Phys. 104-114, 1962.

BUILDING RESEARCH ADVISORY SERVICE. Technical information: dust explosions. 1979.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GARCIA TORRENT, J. Determination of the minimum explosible concentration. Influence of the energy of the ignition source and the geometry. 14th Meeting of the International Electrotechnical Commission, SC31H-WG2. Basilea. Mayo, 1988.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GARCIA TORRENT, J. Parámetros de explosividad de mezclas híbridas. *Tecnoambiente*, Nº 1, pp82-85. Diciembre, 1990.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GARCIA TORRENT, J.; LLAMAS BORRAJO, J. Estudio del mecanismo de combustión del polvo de carbón en presencia de grisú. *Ingeniería Química*, Nº 268. Julio-Agosto, 1991.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GARCIA TORRENT, J.; MARCHAN SANZ, M.C. Physical and chemical analysis of coal dust residues produced by an explosion. Comunicación aceptada para la 24th International Conference of Safety in Mines Research Institutes, que se celebrará en Moscú en Octubre de 1991.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GARCIA TORRENT, J.; GONZALEZ GALLEGU, C.; MARCHAN SANZ, M.C.; SILVA CASTAÑO, F.; VEGA REMESAL, A. Control y prevención de explosiones. 246 pp. Fundación Gómez-Pardo. Mayo, 1989.

CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; MONTES RELANZON, P.; GARCIA TORRENT, J. Tests for measuring electrical resistance of dust layers. 15th Meeting of the International Electrotechnical Commission, SC31H-WG2. Paris. Septiembre, 1989.

CASHDOLLAR, K.; HERTZBERG, M. Infrared pyrometers for measuring dust explosion temperatures. *Optical Engineering*, 1, 82-86, 1982.

CASHDOLLAR, K.; HERTZBERG, M.; OPFERMAN, J. The flammability of coal dust-air mixtures. Bureau of Mines, RI 8360, 1979.

CLARK, S. Preventing dust explosions, *Chemical Engineering*, 153-159, 1981.

COCU, J. Mecanismo de la explosión de polvo de carbón. *CERCHAR*, No. 1900, 1980.

CORRALES ZARAUZA; LAVILLA CORCOBADO. Inflamabilidad de mezclas aire-polvo de carbón. *Ión*, 451-455. 1979.

CROSS, J. FARRER, D. Dust explosions. Plenum Press, 1982.

CYBULSKI, W. Coal dust explosions and their suppression. National Science Foundation, 1975.

CHAUVIN, R. et al. Spontaneous combustion of coal. 21 Int. Conf. of Safety in Mines Research Institutes, 1985.

DORSETT et al. Laboratory equipment and test procedures for evaluating explosibility of dusts. Bureau of Mines RI 5624, 1960.

ECKHOFF, R.K. A study of selected problems related to the assessment of ignitability and explosibility of dust clouds. Chr. Michelsen Institute, 1976.

ESSENHIGH, R.H. et al. Combustion behavior of small particles. *Industrial and Engineering Chemistry*, 9, 33-43, 1965.

FIELD, P. *Dust explosions*. Elsevier. 1981.

FIELD, P. *Explosibility assessment of industrial powders and dusts*. Fire Research Station. 1983.

GARCIA TORRENT, J. Estudio de la caracterización de la explosividad de los tipos de polvo de carbón y diseño de una instrumentación original para la determinación de los índices. 268 pp. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Mayo, 1986.

GARCIA TORRENT, J. Índices de explosividad. *Industria Minera*, N° 265, pp 13-16. Enero, 1987.

GARCIA TORRENT, J. Editorial. *Newsletter*, N° 12, pp 1, Abril, 1990.

GARCIA TORRENT, J. Influencia de la composición de los carbones en su explosividad. *Canteras y Explotaciones*. Mayo 1991.

GARCIA TORRENT, J.; ALCANTARA PEDREIRA, R.; CAMARA RASCON, A. Métodos de ensayo para caracterizar el riesgo de explosión en materiales metálicos. VIII Congreso Nacional de Química, Madrid. Marzo, 1989.

GARCIA TORRENT, J.; BARQUERO TENLLADO, J. Clasificación de minas respecto al polvo de carbón. *Canteras y Explotaciones*, N° 236, pp 96-101. Noviembre, 1986.

GARCIA TORRENT, J.; CAMARA RASCON, A. Diseño de áreas de descompresión para explosiones de polvo. *Química e Industria*, Vol. 34, N° 2, pp 135-137, Febrero, 1988.

GARCIA TORRENT, J.; CAMARA RASCON, A.; BARQUERO TENLLADO, J. Protección contra las explosiones secundarias de polvo de carbón. *Canteras y Explotaciones*, N° 235, pp 45-48. Septiembre, 1986.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J. Flammability and explosion propagation of methane-coal dust hybrid mixtures. 23rd. International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Washington. Septiembre, 1989.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J. New experimental data for measuring minimum explosible concentration. 15th Meeting of the International Electrotechnical Commission, SC31H-WG2. París. Septiembre, 1989.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; CAMARA RASCON, A. ; ALCANTARA PEDREIRA, R. Concentración mínima explosiva de materiales sólidos combustibles. DYNA, Vol. 65, N<sup>o</sup> 8, pp21-26. Noviembre, 1990.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; GONZALEZ GALLEGO, C. Caracterización de la inflamabilidad de partículas. VI Jornadas de Fluidización y Sistemas Fluido-Partícula. Gerona. Mayo, 1990.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; LLAMAS BORRAJO, J. On the combustion mechanism of coal dust in the presence of firedamp. Combustion and Flame. En imprenta.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; MARIN FERNANDEZ, S. Kst variation due to the presence of inflammable gases. Newsletter, N<sup>o</sup> 13, pp 7-8. Septiembre, 1990.

GARCIA TORRENT, J.; CANTALAPIEDRA FUCHS, J.; MONTES VILLALON, J.M.; ALCANTARA PEDREIRA, R. Improvement in the correlation between the composition index and the explosibility index. Fuel (Vol 70, No 9, pp 1099- 1101, Sept. 1991)

GARCIA TORRENT, J.; GONZALEZ EGUREN, R.; ALCANTARA PEDREIRA, R.; NUBLA LADRON, J.M. Riesgos en el manejo de polvos combustibles. Mapfre Seguridad, N<sup>o</sup> 28, pp 27-35. Cuarto trimestre, 1987.

GARCIA TORRENT, J.; GONZALEZ EGUREN, R.; ALCANTARA PEDREIRA, R.; NUBLA LADRON, J.M. Risks in handling combustible dusts. Fire Prevention, N<sup>o</sup> 213, pp 32-33. Octubre, 1988.

GARCIA TORRENT, J.; HUALDE GARCIA, J. Aplicación de las investigaciones sobre explosividad de polvo de carbón: metodología propuesta para la evaluación del riesgo. VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Oviedo. Octubre, 1988.

GARCIA TORRENT, J.; MAÑANA VAZQUEZ, R.; GONZALEZ EGUREN, R. Research on dust explosions in Spain. XXVII International Meeting of Experts in Underground Dust Explosions. Katowice. Mayo, 1989.

GARCIA TORRENT, J.; MENENDEZ PEREZ, E. Application of explosion protection on Escatrón PFBC power station. Expert's meeting for explosion and protection. Paris. Marzo, 1991.

- GARCIA TORRENT, J.; SAINZ ARMADA, I.; ALCANTARA PEDREIRA, R. A correlation between composition and explosibility index for coal dust. *Fuel*, Vol. 67, pp 1629-1632. Diciembre, 1988.
- GARCIA TORRENT, J.; YTURRIAGA TRENOR, S. Determinación del riesgo de explosión por polvo de carbón en las explotaciones de la Sociedad Anonima Hullera Vasco Leonesa. VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Oviedo. Octubre, 1988.
- HENRYCH, J. *The dynamics of explosion and its use*. Elsevier, 1979.
- HERTZBERG, M.; CASHDOLLAR, K.L. ; LAZZARA, C.P. Y SMITH, A.C. (1982). Inhibición y extinción de explosiones de polvo de carbón y metano. U.S. Bureau of Mines R.I. 8707
- HILL, R. *Evaluation and control of process hazards*. CFP, 1988.
- HOWARD, J.B.; ESSENHIGH, R.H. *Combustion Mechanism in pulverized coal flames*, 1966.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Indice de incendio y explosión*. Centro de investigación y asistencia técnica.
- ISHIHAMA, W.; ENOMOTO, H. New experimental method for studies of dust explosins. *Combustion and Flame*, 2, 177-86, 1973.
- KLETZ, T.A. HAZOP and HAZAN. The Institution of Chemical Engineers, 1986.
- KRYSTOLIK, P.A.; LEBECKI, K. Recent investigations on coal dust explosions. 20 Int. Conf. of Safety in Mines Research Institutes, Sheffield, 1983.
- LAIDLER, K.J. *Cinética de reacciones*. Alhambra, 1966.
- LEBECKI, K. et al. Specific conditions for the initiation of coal dust explosions. HSE (Przegląd Górniczy), 7-8, 368-77, 1981.
- LEON MARCO, P. (1989). *Investigación sobre fuegos e incendios en las explotaciones subterráneas de lignito de Teruel. Análisis, prevención y valoración del riesgo de autoinflamación*. Tesis doctoral. UPM.
- LEWIS; VON ELBE. *Combustion, Flames and explosion of gases*. Academic Press, 1961.
- LUNN G.A. *Dust explosions: barrier methods for industry*. Health and Safety Executive. 1985.

LUNN, G.A. Guide to dust explosion prevention and protection. Part 3: Venting of weak explosions and the effect of vent ducts. The Institution of Chemical Engineers, 1988.

LLAMAS BORRAJO, J.F. (1990). Caracterización química de Carbones. Fundación Gómez-Pardo.

MARCHAN SANZ, M.C.; GARCIA TORRENT, J. Maquinaria y seguridad desde el punto de vista de la explosividad del polvo de carbón. Simposium Nacional de Selección de Maquinaria en Minería y Obras Públicas. Madrid. Diciembre, 1987.

MONTES VILLALON, J.M. Química Física. Fundación Gómez Pardo.

MOORE, P.E. Industrial explosion protection. I. Chem. E. Symposium series. No 69. 1982.

MUÑIZ HEVIA, E. Tecnología de explosivos. 1985.

NAGY, J.; VERAKIS, H.C. Development and control of dust explosions. Marcel Dekker, 1983.

N.F.P.A. No 68. Guide for explosion venting.

N.F.P.A. No 69. Standard on explosion prevention systems.

PALMER, K.N. Dust explosions and fires. Chapman and Hall, 1973.

RAFTERY, M.M. Explosibility tests for industrial dusts. Fire Research Technology, 21, 1968.

RIGSBY, L.S. Coal self heating: problems and solutions. 3 Int. Coal Testing Conf. 102-6. 1983.

SCHOFIELD, C. Guide to dust explosion prevention and protection. Part 1: Venting. The Institution of Chemical Engineers, 1984.

SCHOFIELD, C.; ABBOTT, J.A. Guide to dust explosion prevention and protection. Part 2: Ignition prevention, containment, inerting, suppression and isolation. The Institution of Chemical Engineers, 1988.

STRANG, J.; MCKENZIE-WOOD, P. Mines rescue, safety and gas detection. Weston & Co., 1985.

**TEXTOS LEGALES SOBRE REGLAMENTOS:**

- Legislación de Minas. Policía minera y metalúrgica. Minas con polvo de carbón inflamable. 1934.
- Code des Mines. Minieres et carrieres, Bruxelles.
- Mines et carrieres. Reglament général des industries extractives, Paris.
- Extracto del Reglamento polaco, Glowny Instytut Gornictwa, Mikolov.
- The Law Relating to Safety and Health in Mines and Quarries, London.
- Prevention des coups de poussiere combiustible dans les travaux souterrains des mines de houille, Paris.
- Mandatory Safety Standards, Underground Coal. Department of the Interior. Washington DC.
- The explosion hazard in mining. Mine Safety and Health Administration, Department of Labor, Washington DC.
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Ministerio de Industria y Energia. 1986.
- International Electrical Commision (IEC). Doc. 31H (Sec) 9 "Report by working Group 1 on electrical apparatus protected by enclosures for use in the presence of combustibles dusts". 1985.

VULIS, L.A. Thermal regimes of combustion. McGraw-Hill, 1961.

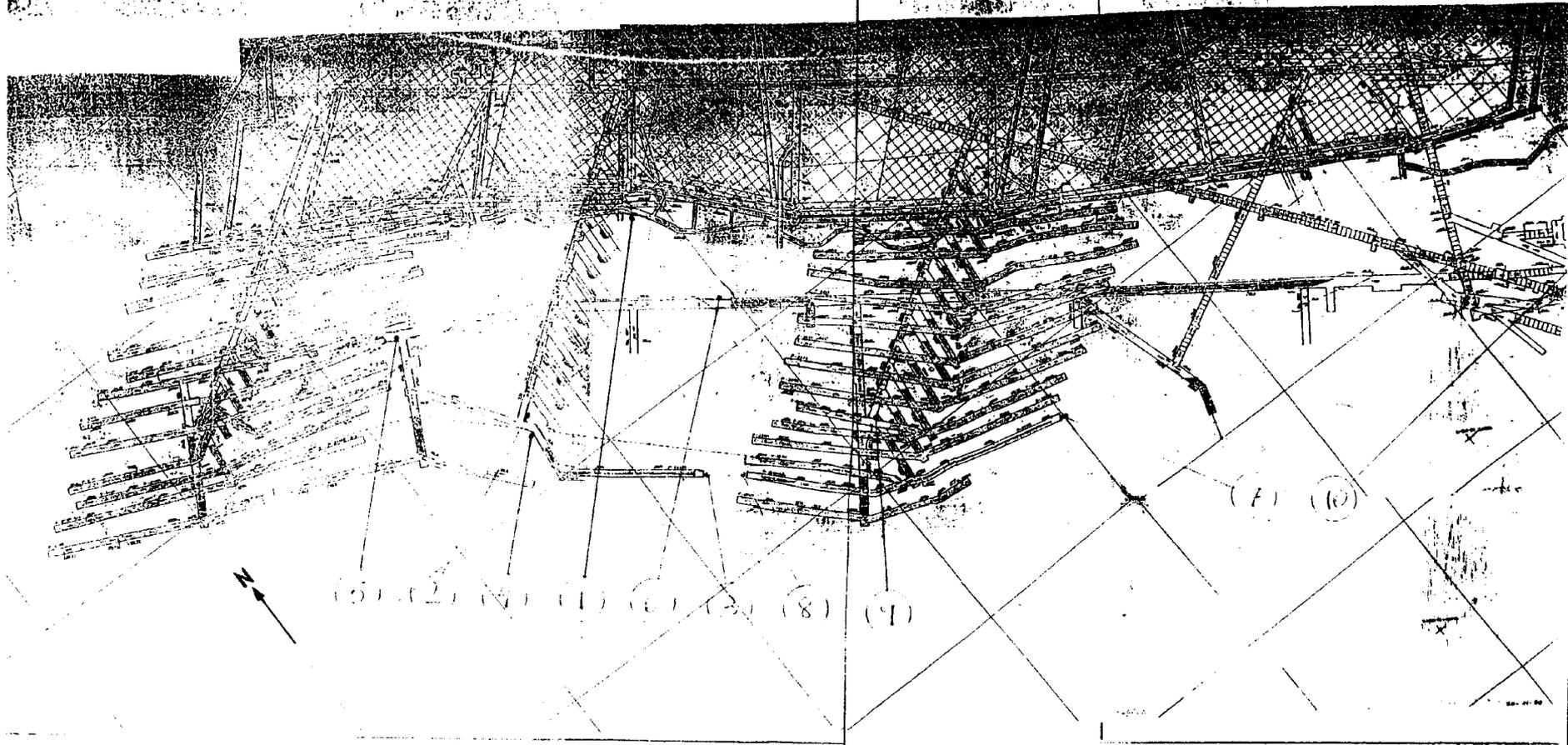
WILLIAMS, F.A. Combustion theory. Benjamin Cummings, 1985.

ZELDOVICH, Y.B. The mathematical theory of combustion and explosions. Plenum Publishing Corporation, 1985.

**ANEXO A1**

**Planos de labores de las explotaciones mineras**

**MINA OPORTUNA**

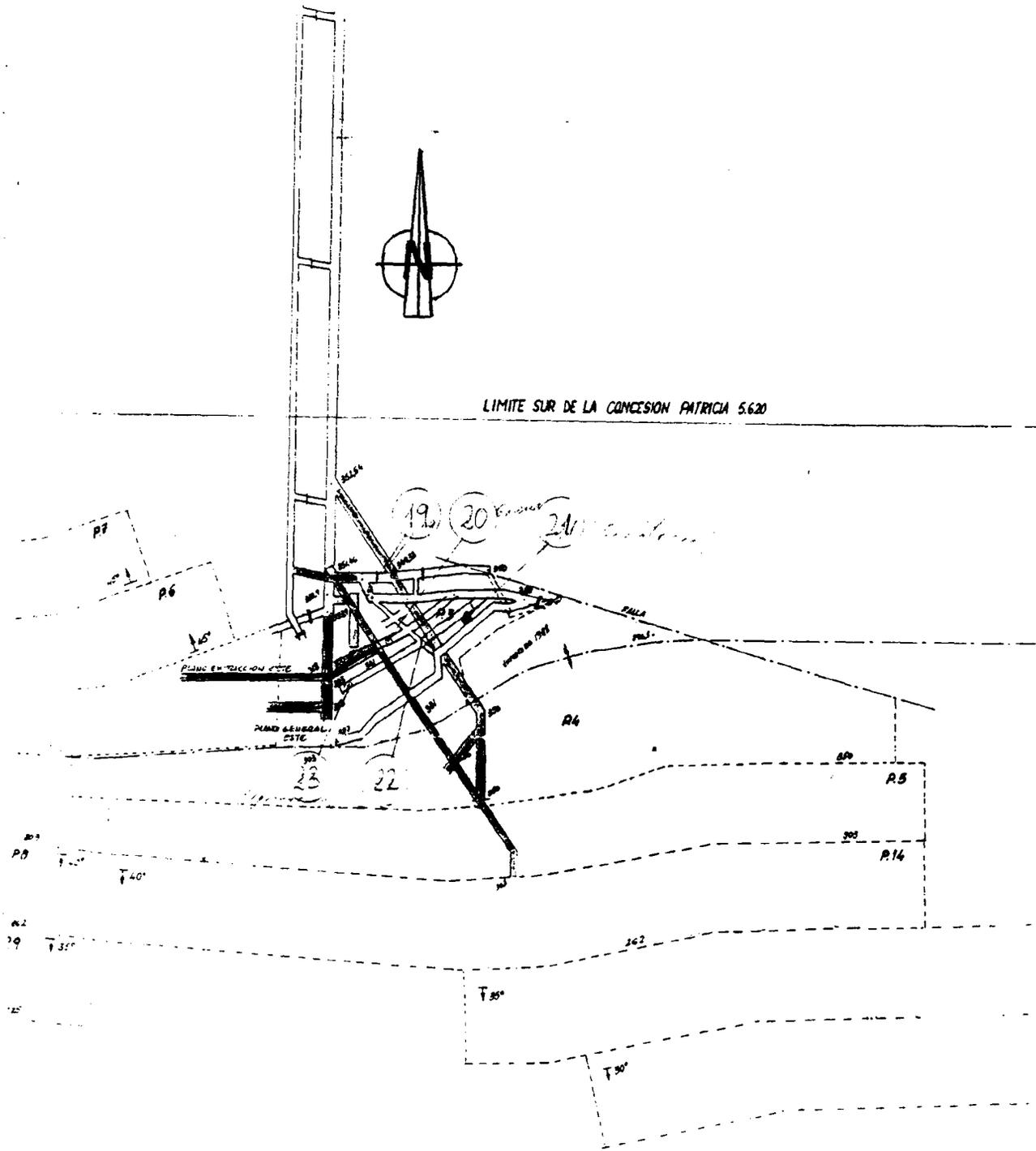


**MINA OPORTUNA**

Fotocopia reducida del original.  
Escala gráfica cambiada.  
ESCALA: 1:1000

**MINA INNOMINADA**

**MINA PATRICIA**

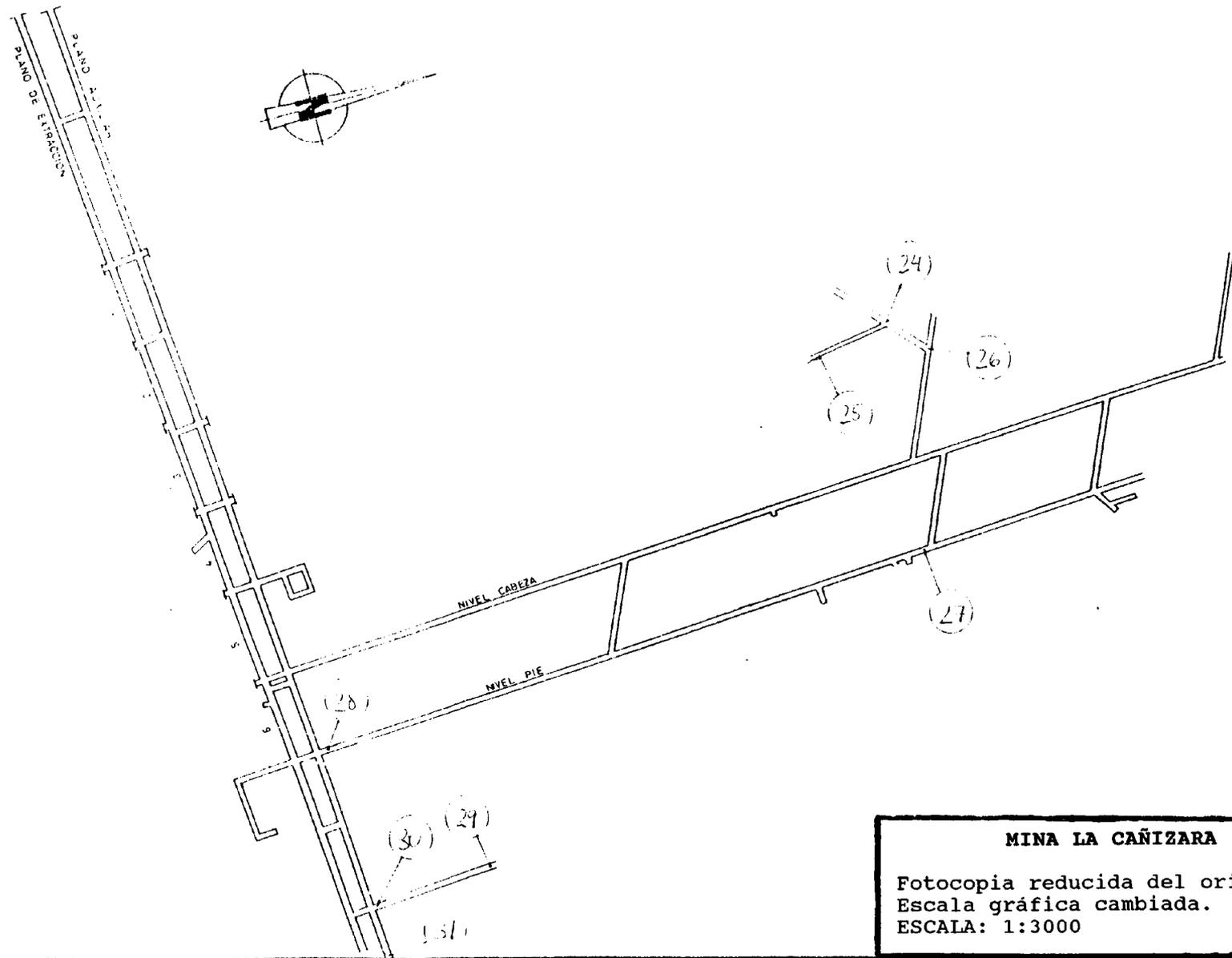


LIMITE SUR DE LA CONCESION PATRICIA 5.620

**MINA PATRICIA**

Fotocopia reducida del original.  
 Escala gráfica cambiada.  
 ESCALA: 1:2500

**MINA CAÑIZARA**



**MINA LA CAÑIZARA**

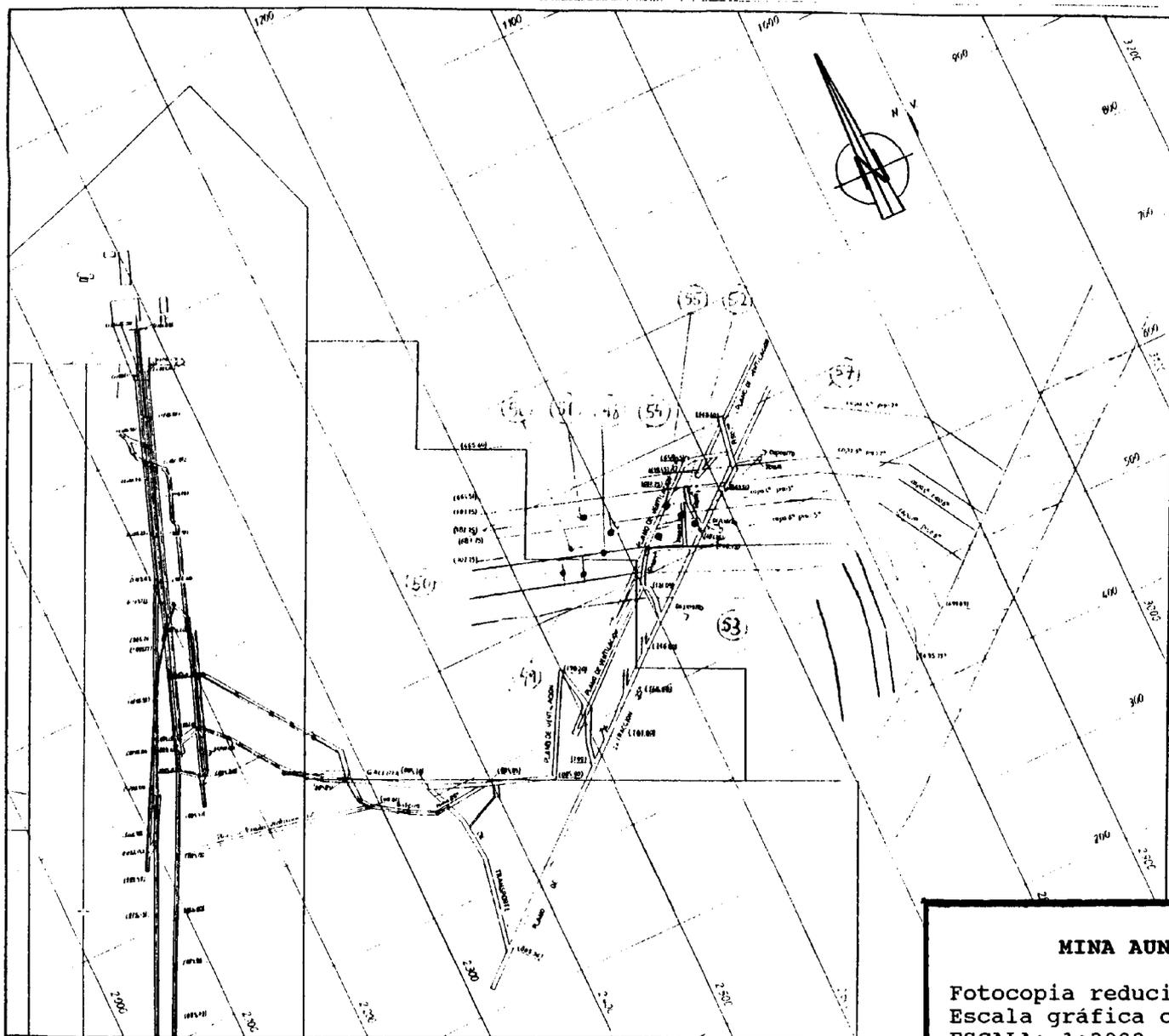
Fotocopia reducida del original.  
Escala gráfica cambiada.  
ESCALA: 1:3000

**MINA SANTA MARIA**



**POZO PILAR**

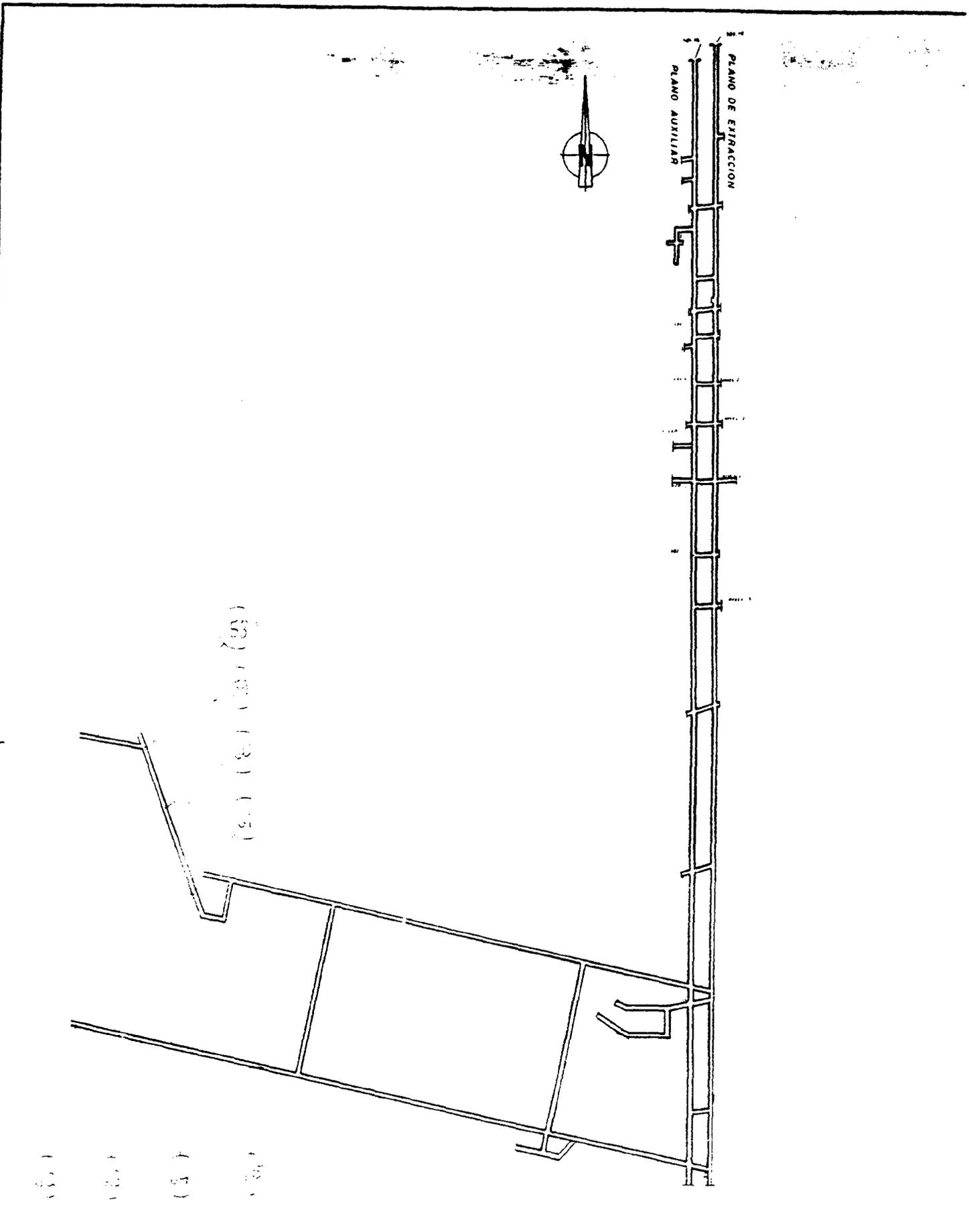
**MINA AUN HAY CASO**



**MINA AUN HAY CASO**

Fotocopia reducida del original.  
Escala gráfica cambiada.  
ESCALA: 1:2000

**MINA MARIA**

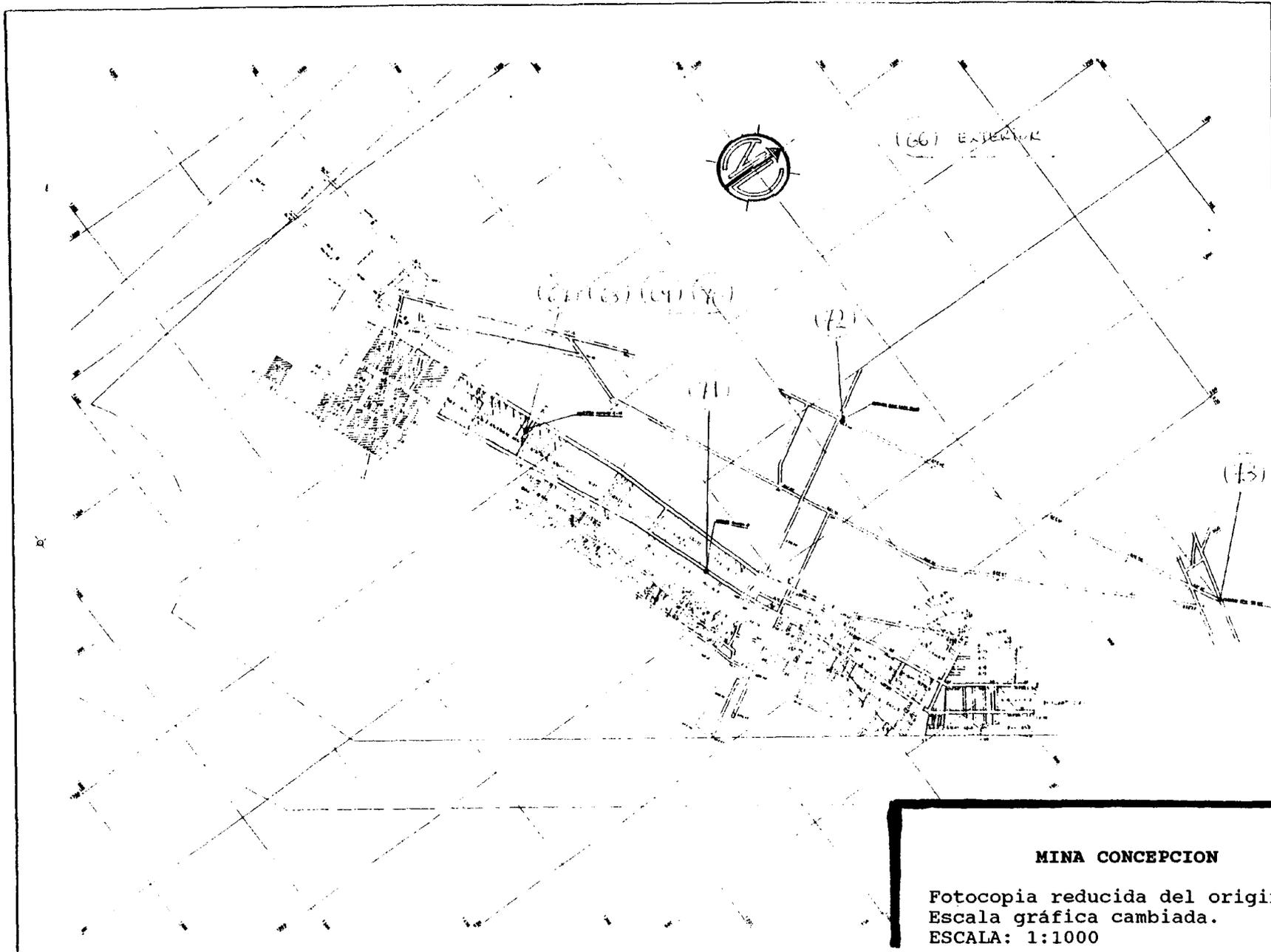


ARAGON		
MINEROS SA DE LAZORES		
ESCALA	MINA "MARIA Y REGINA"	Fecha
	<i>[Signature]</i>	Nº plano

**MINA MARIA**

Fotocopia reducida del original.  
 Escala gráfica cambiada.  
 ESCALA: 1:4000

**MINA CONCEPCION**



**MINA CONCEPCION**

Fotocopia reducida del original.  
Escala gráfica cambiada.  
ESCALA: 1:1000

**MINA LUISA**

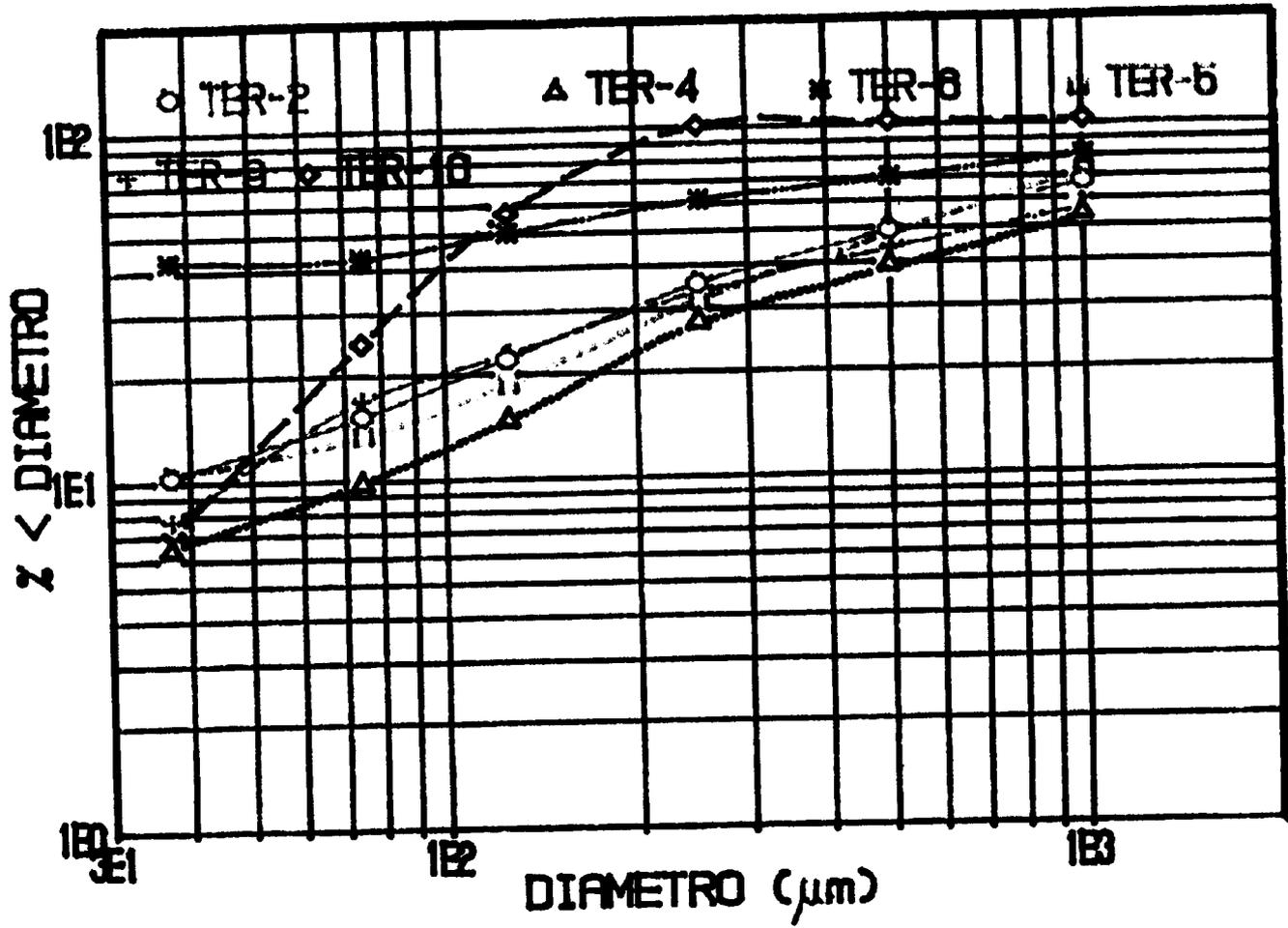


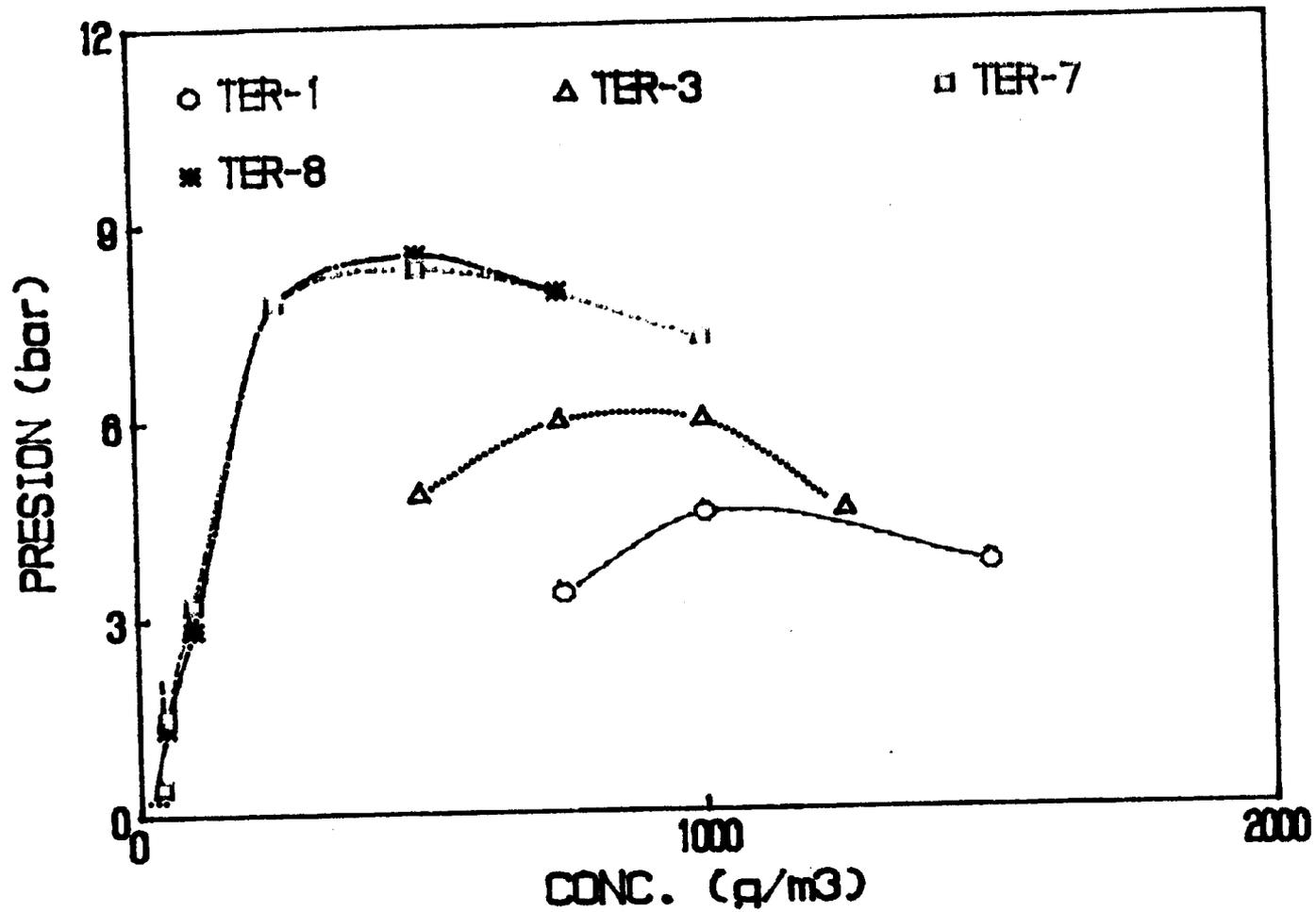
**MINA CARMEN Y PURA**

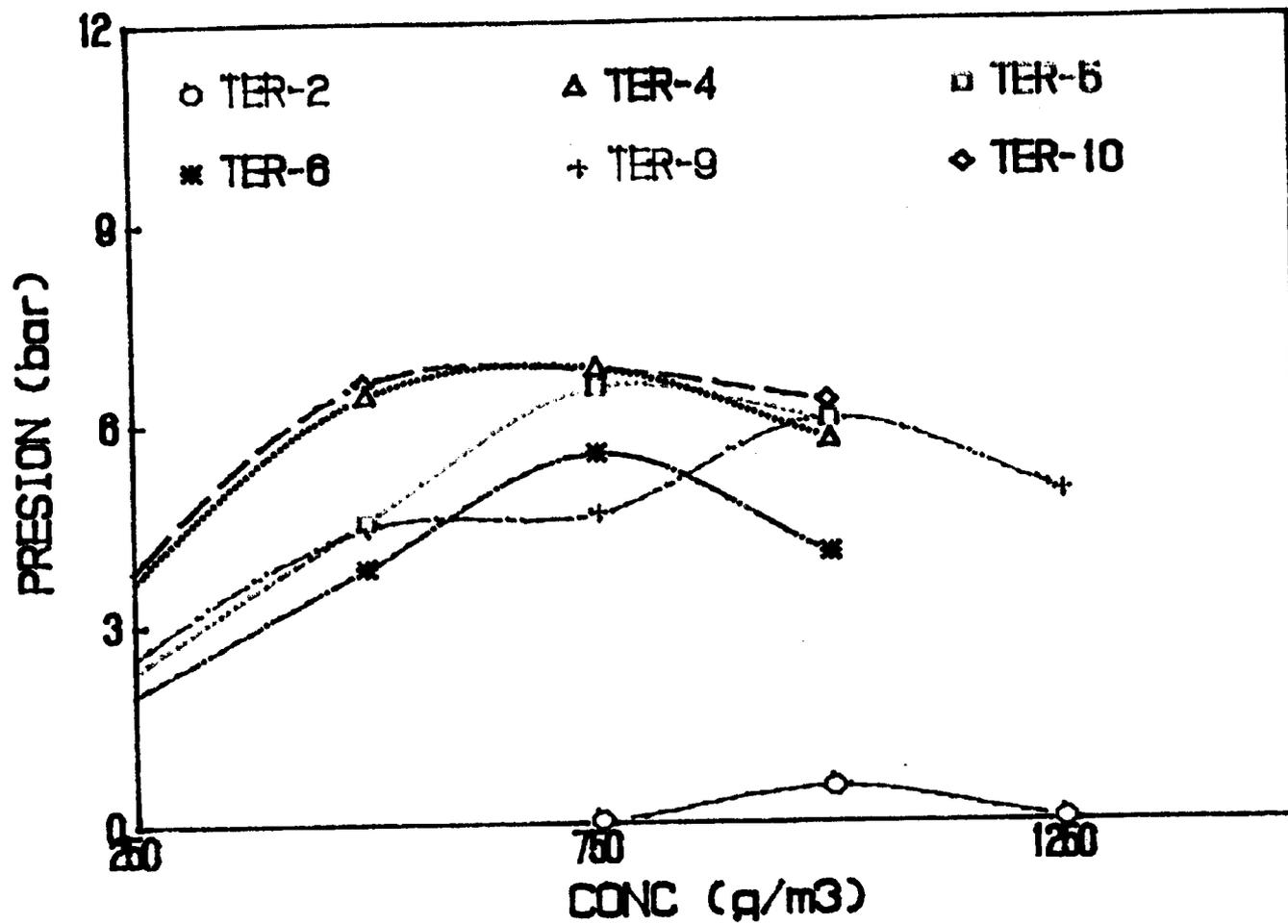
**ANEXO A2**

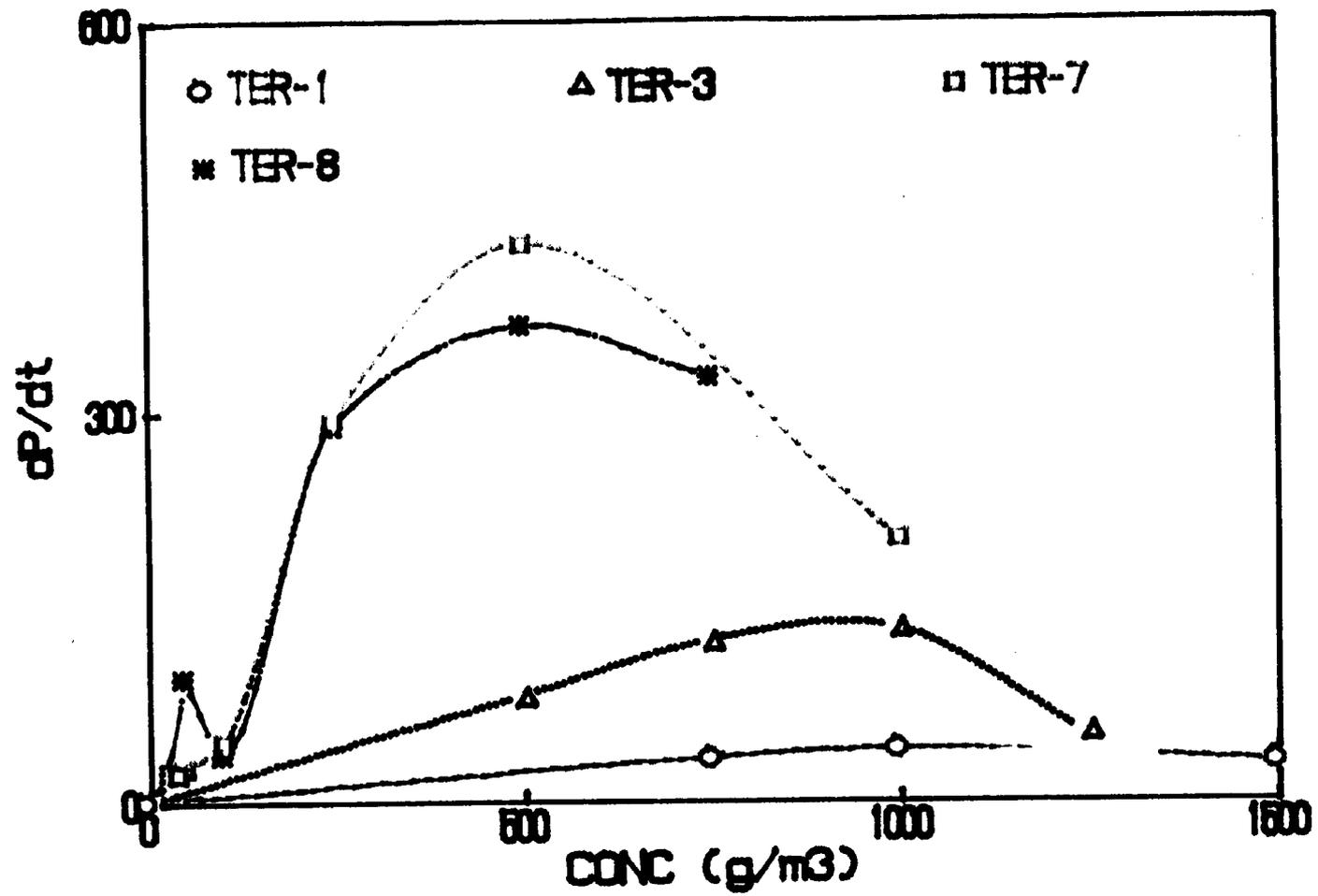
**Figuras**

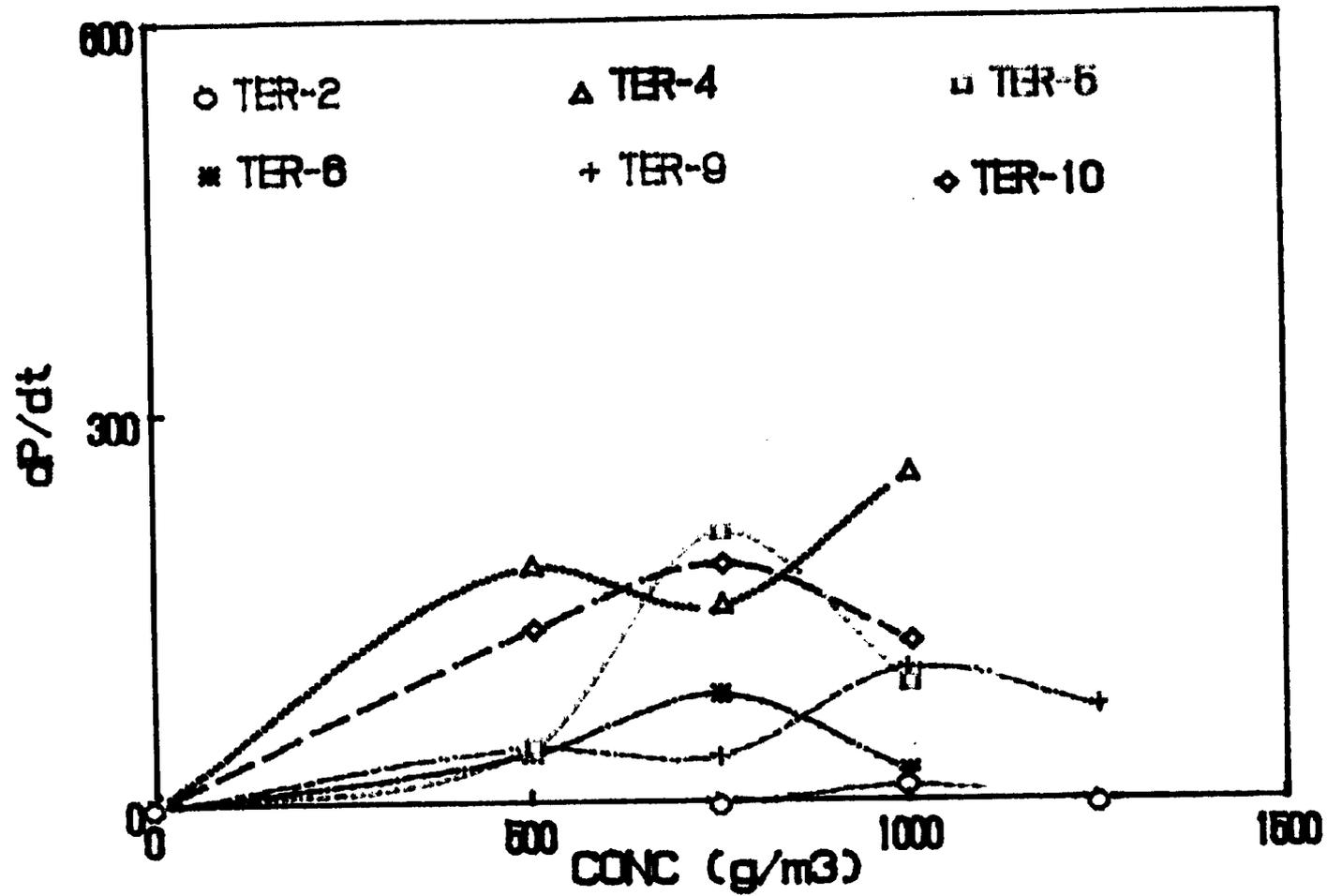
**MINA OPORTUNA**





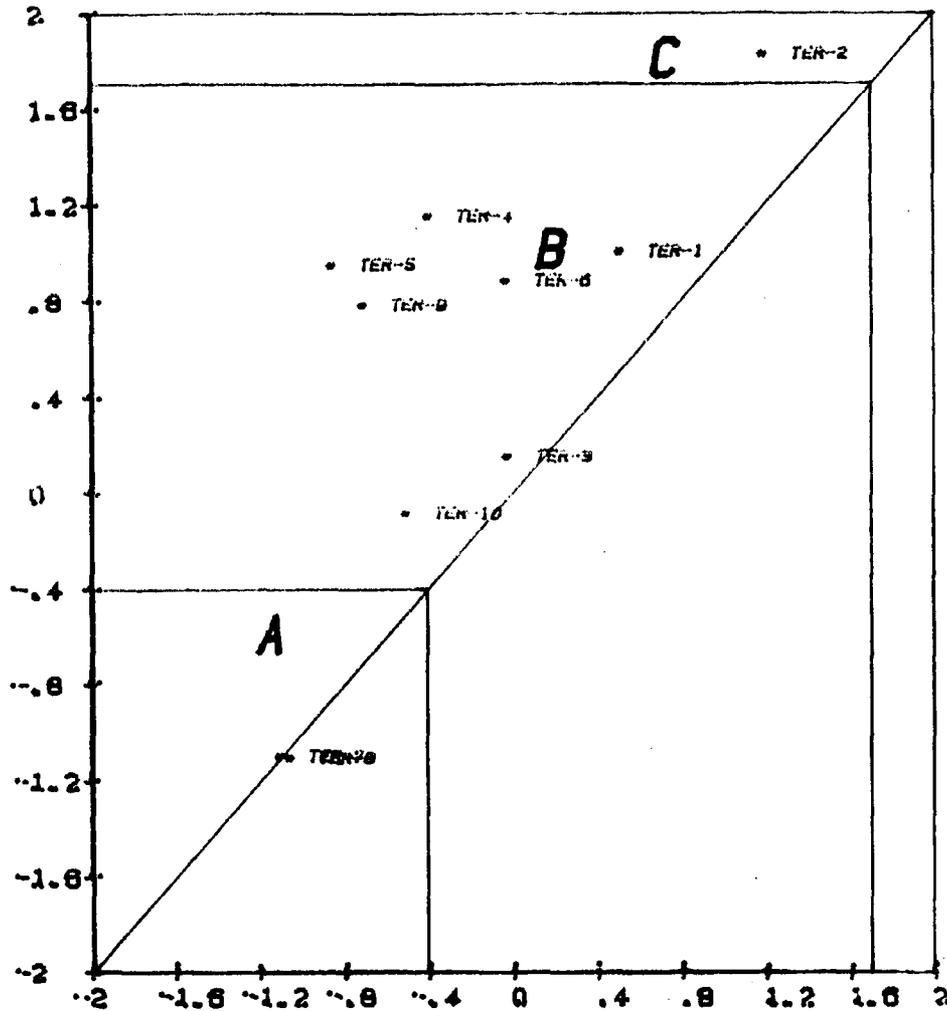






# OPORTUNA

VC11



**LOM**

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

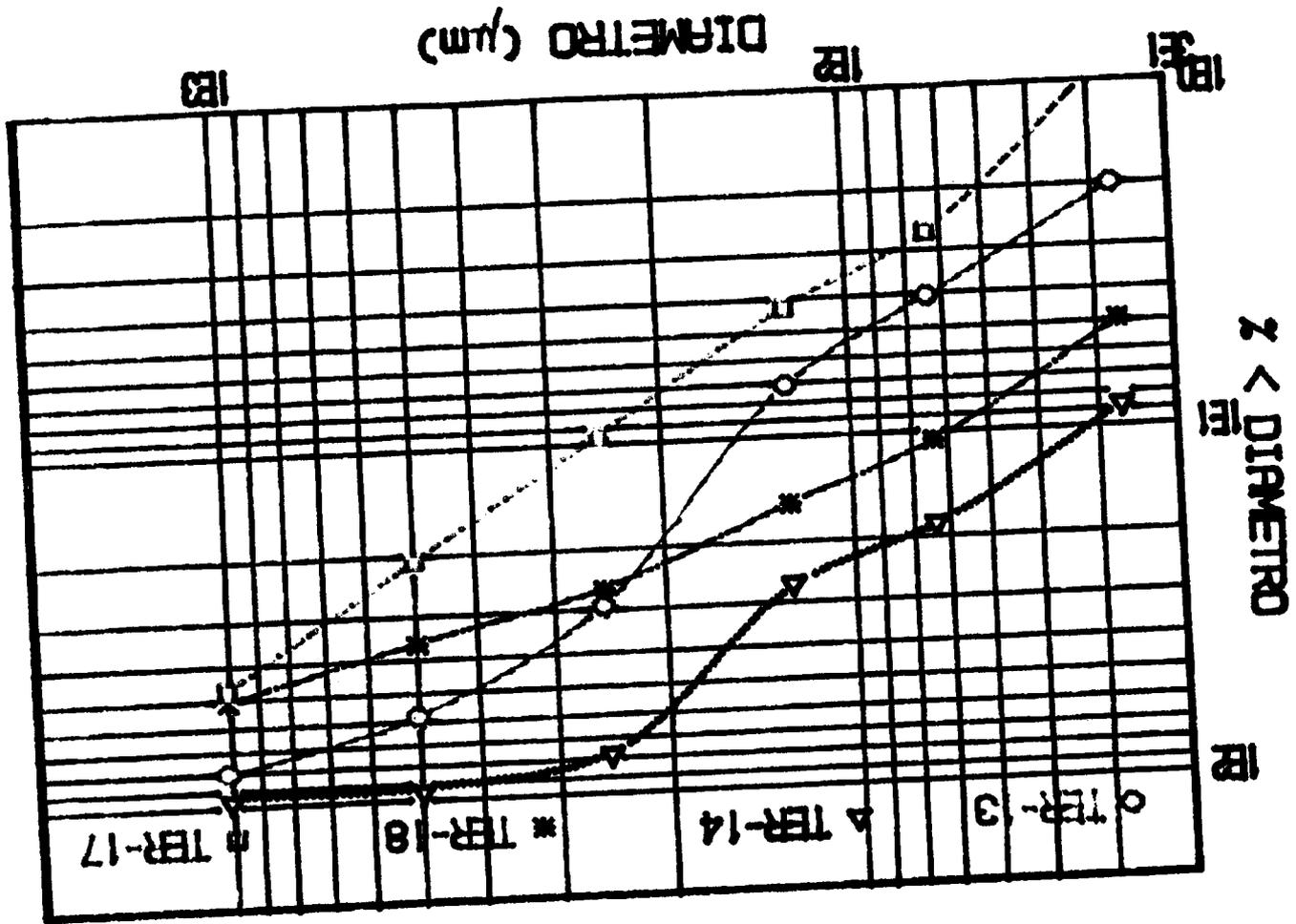
Fecha:

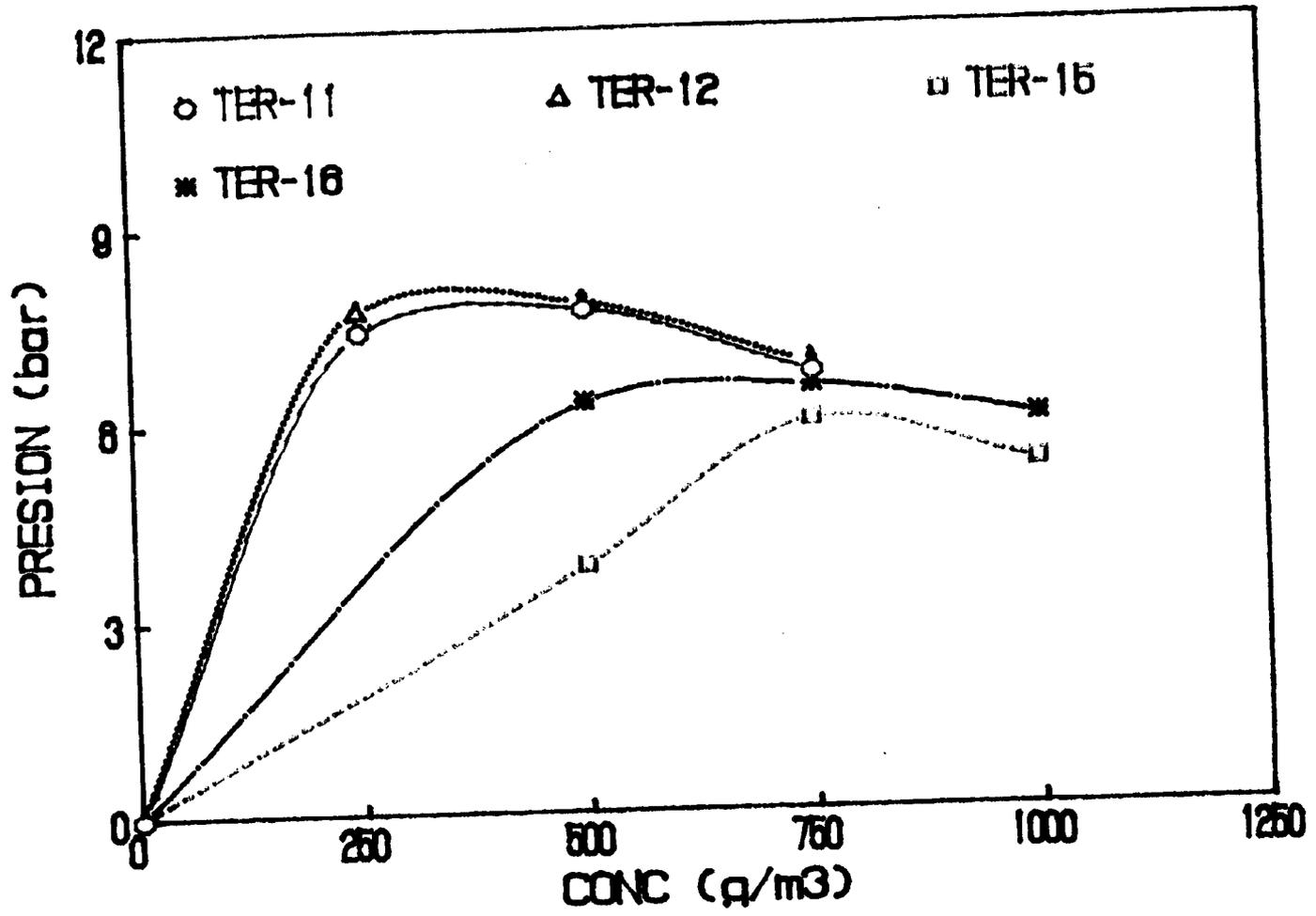
JUNIO/91

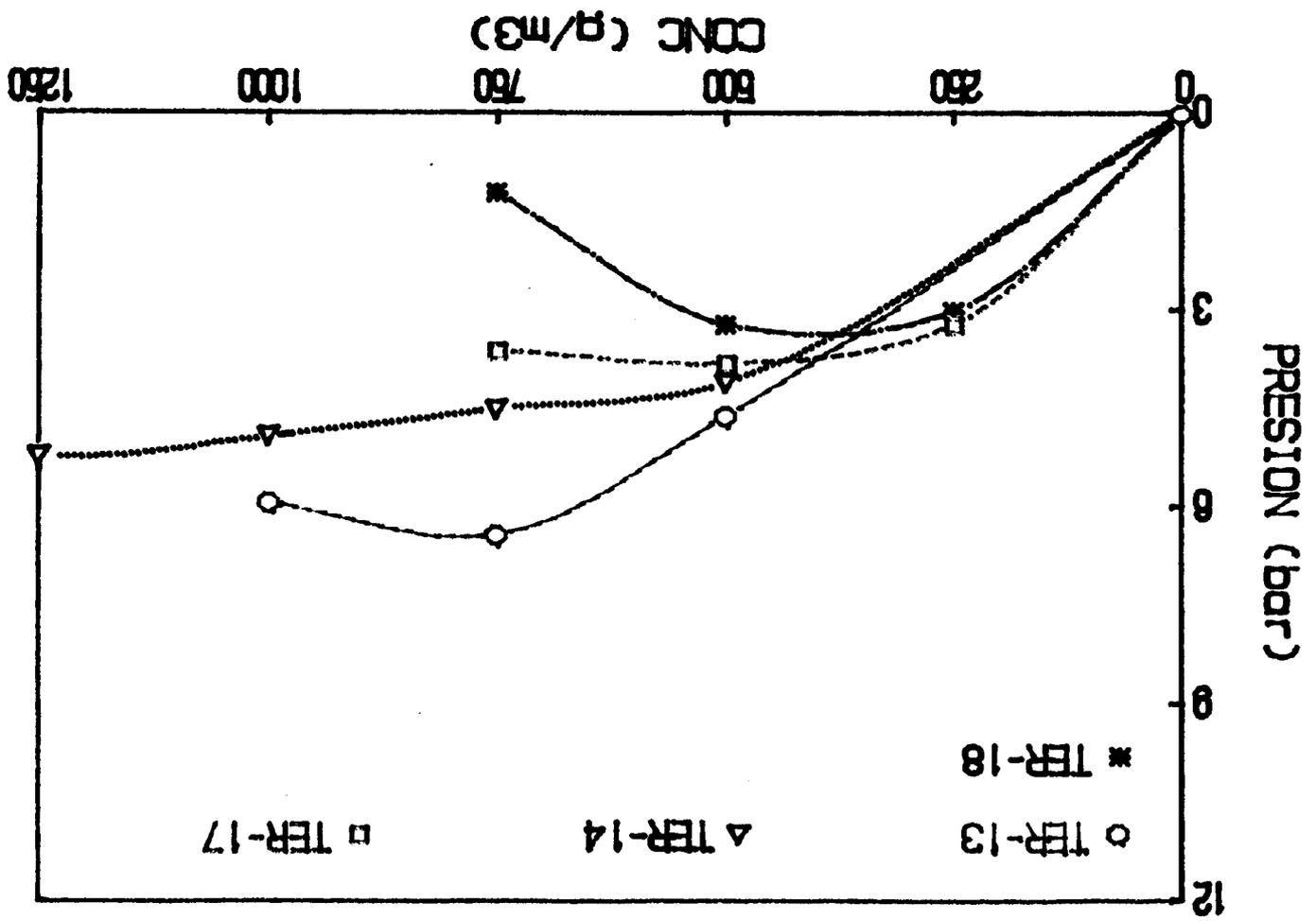
VC12

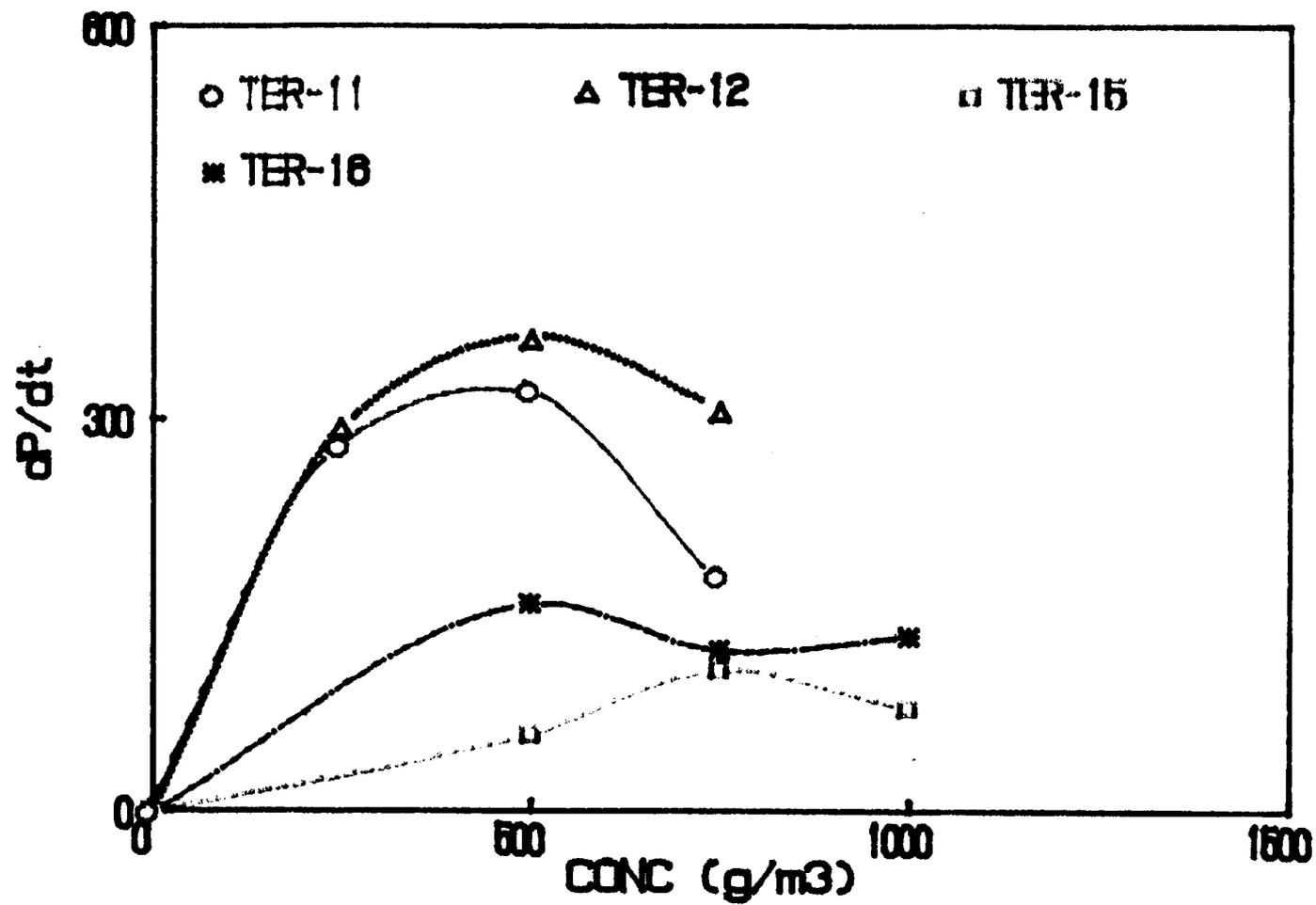
JGT

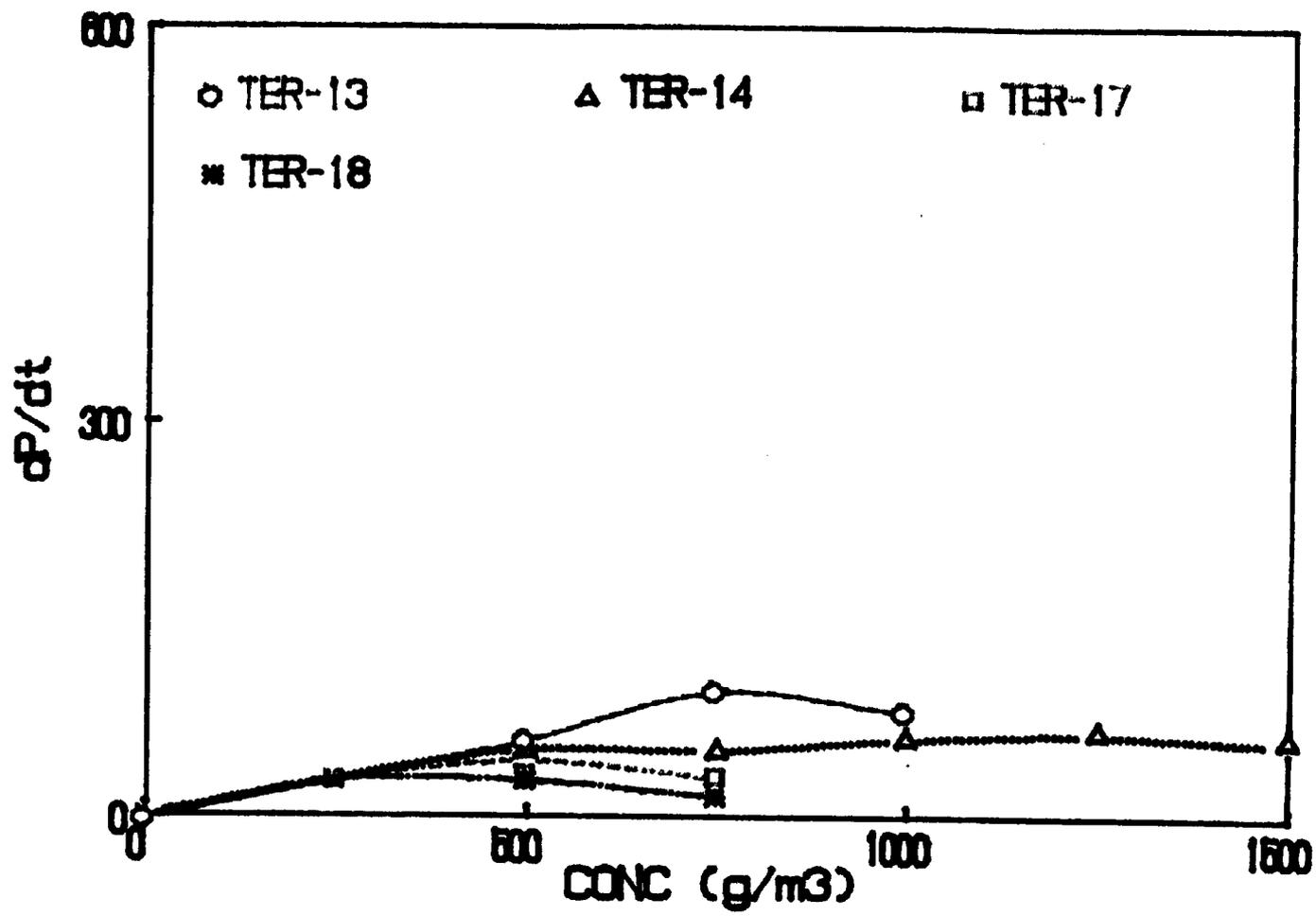
**MINA INNOMINADA**





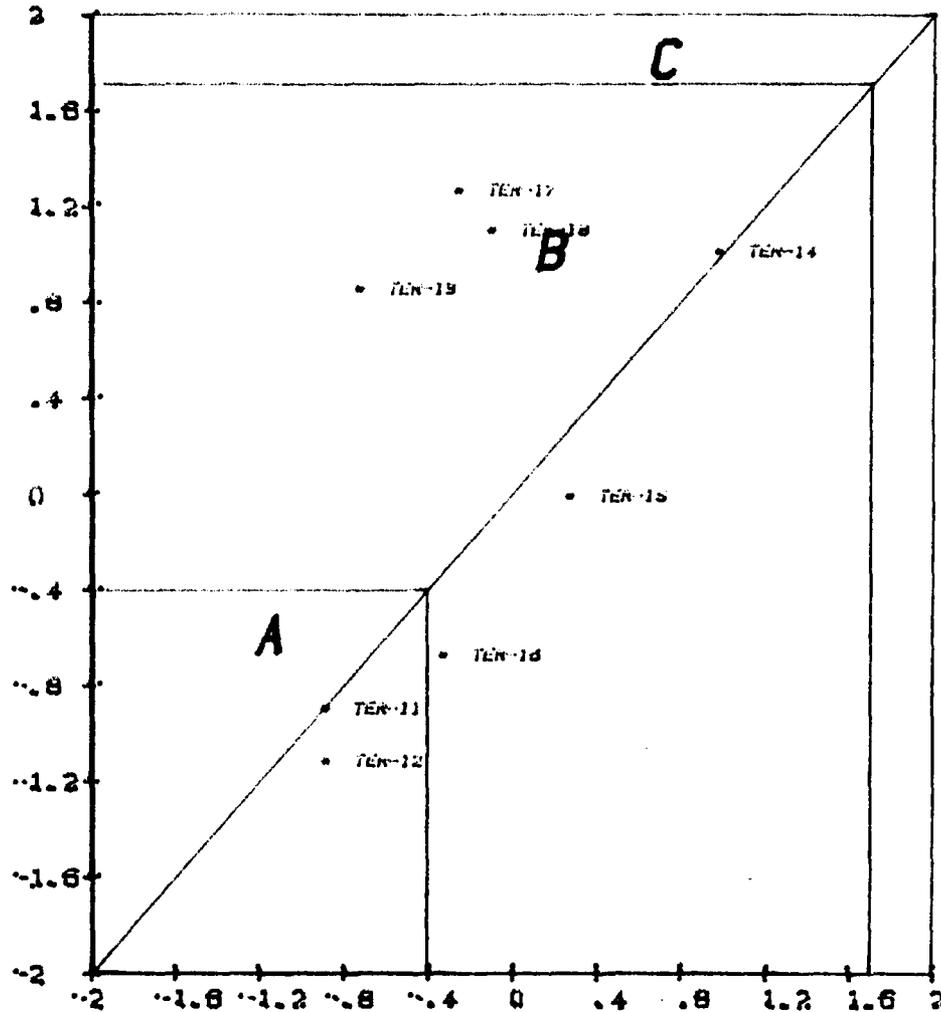






# INNOMINADA

VC11



**LOM**

**Peticionarios**

**ITGE**

**Proyectos**

**TERUEL**

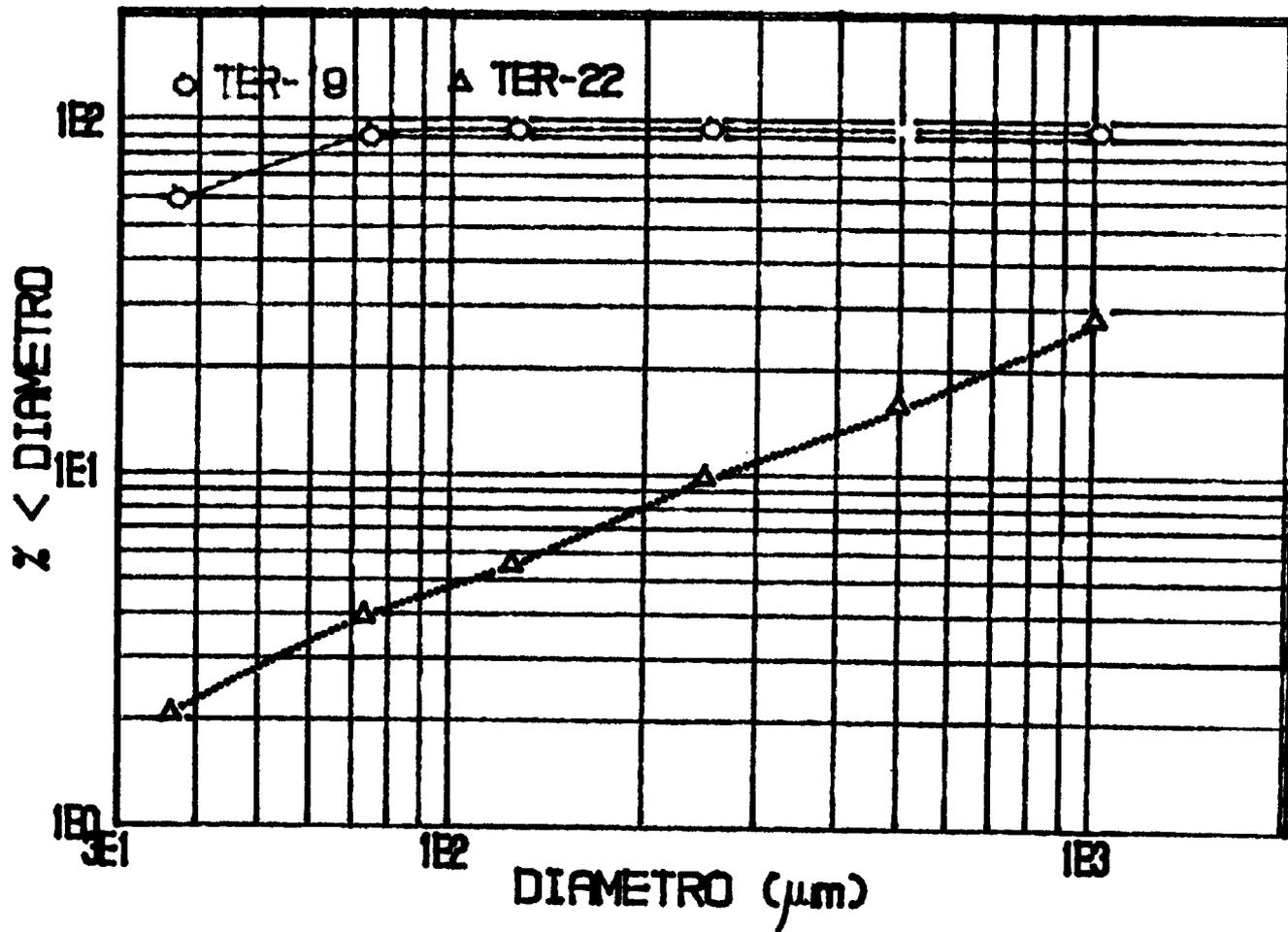
**Fecha**

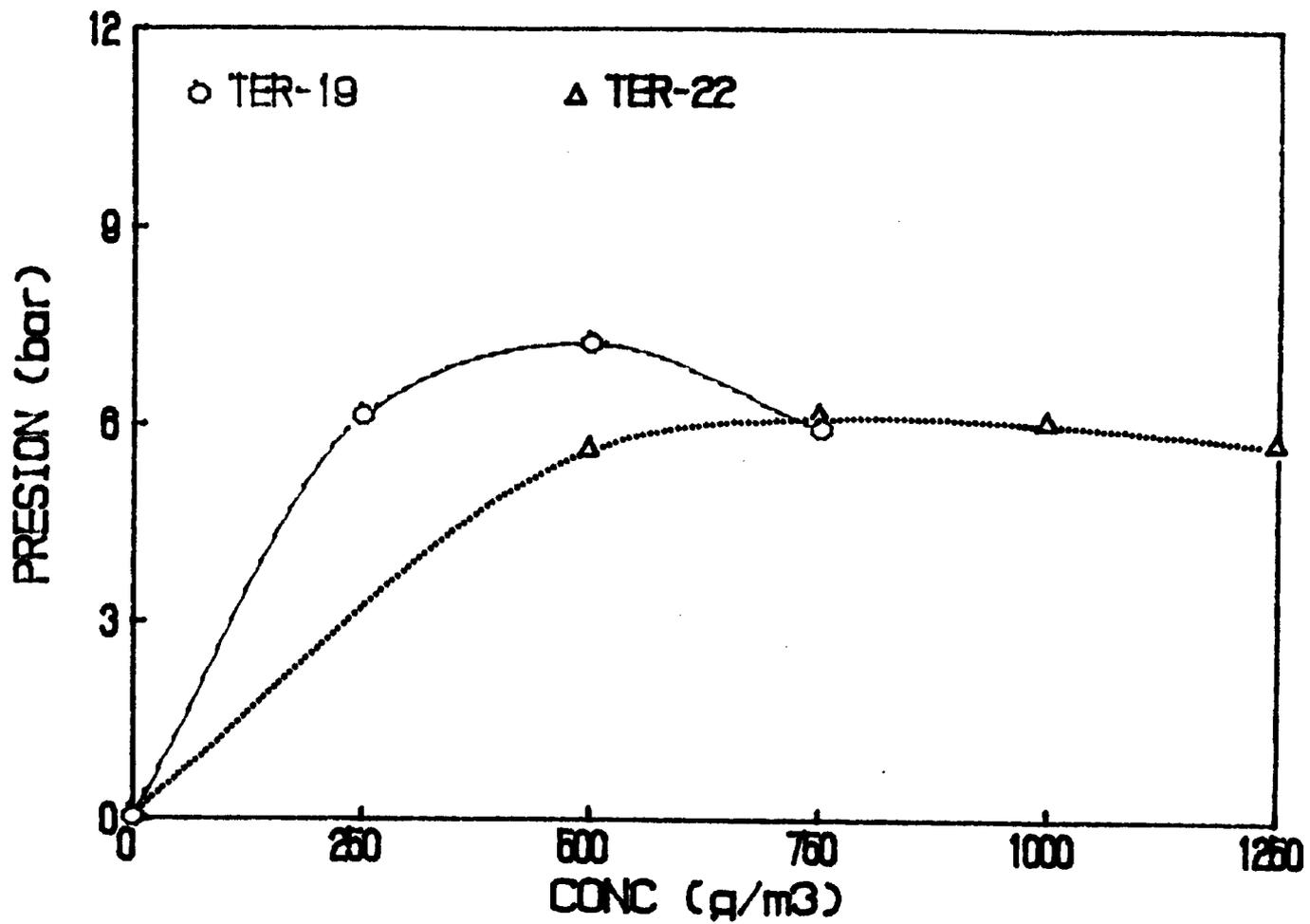
**JUNIO/91**

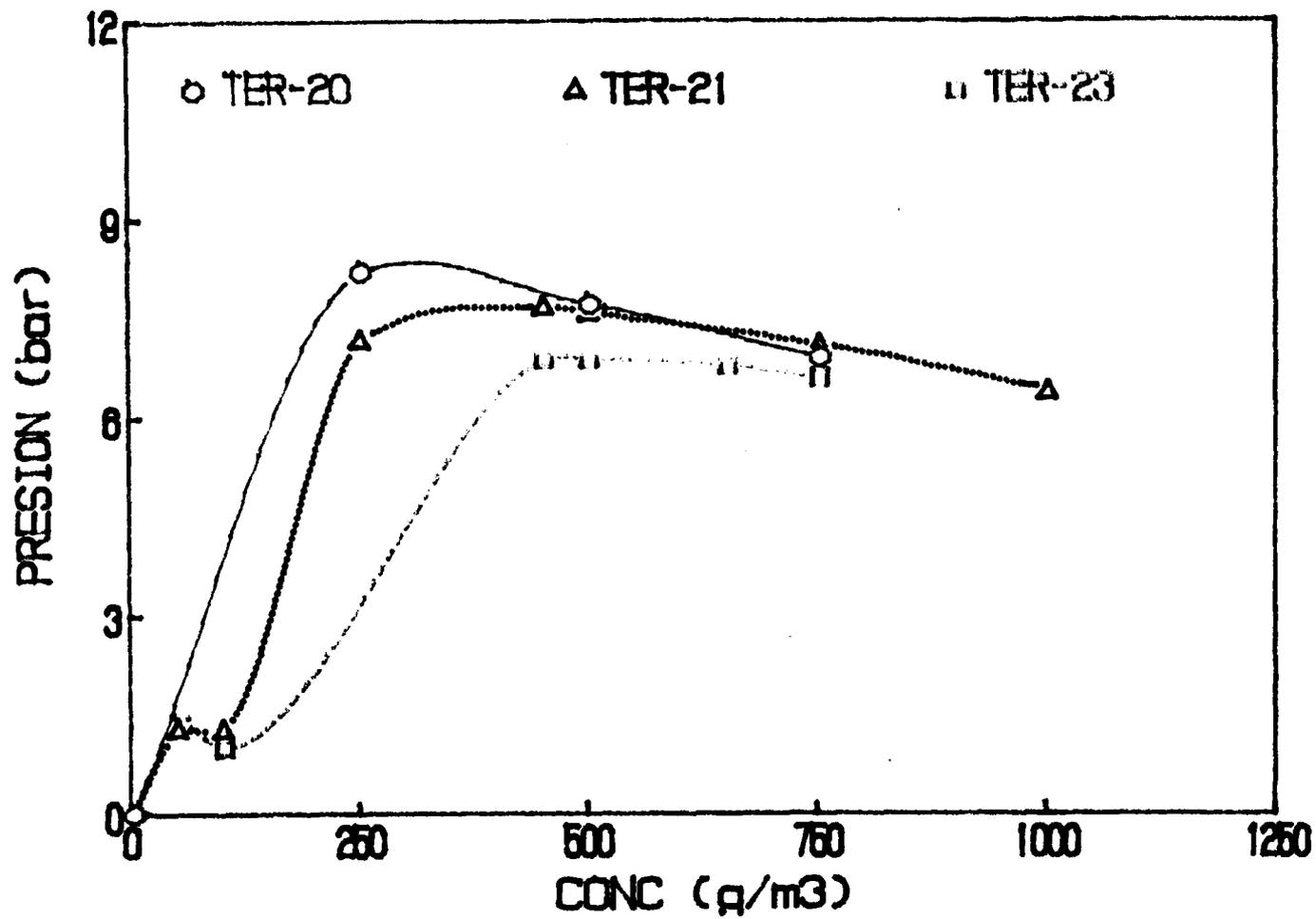
VC12

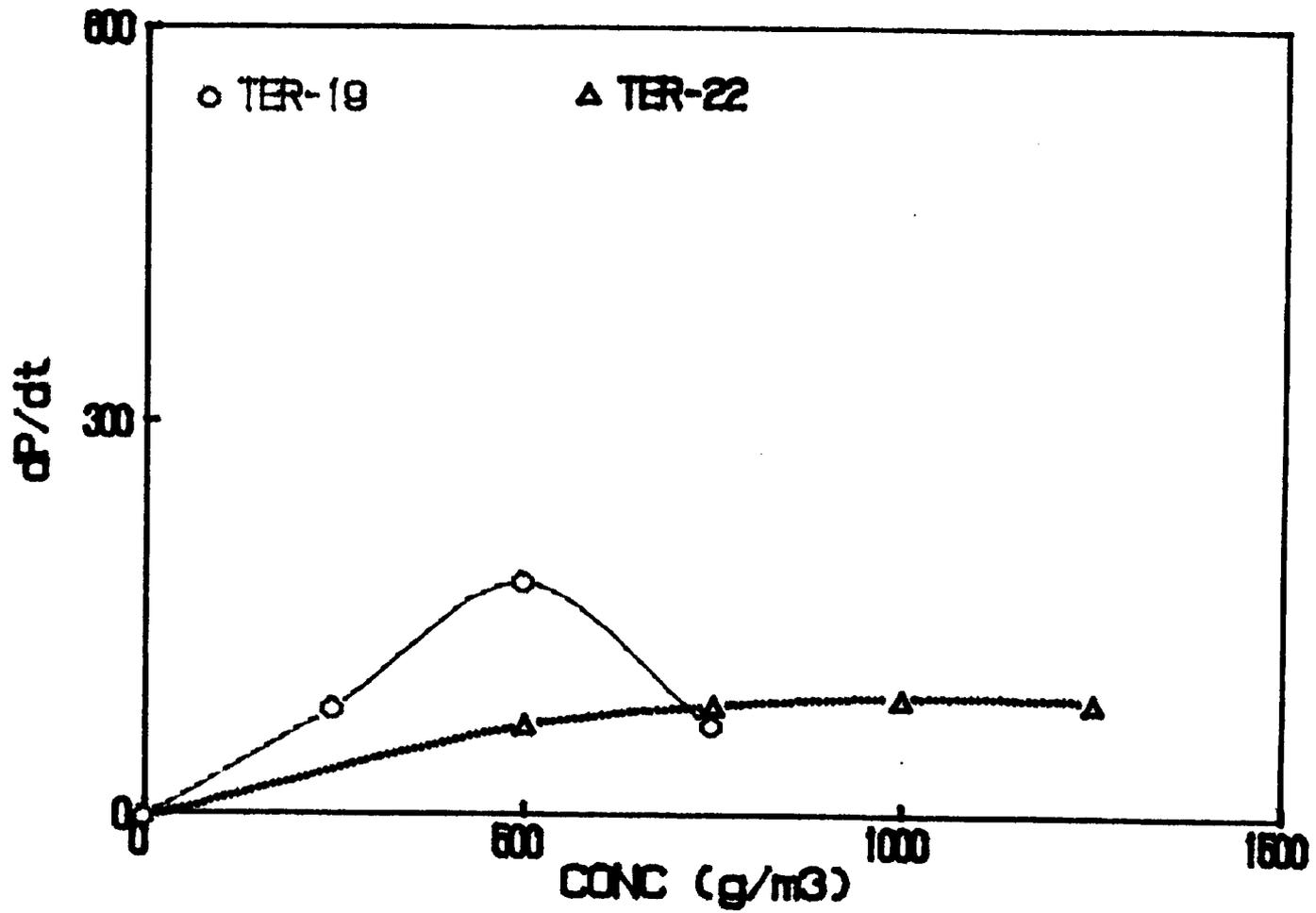
JGT

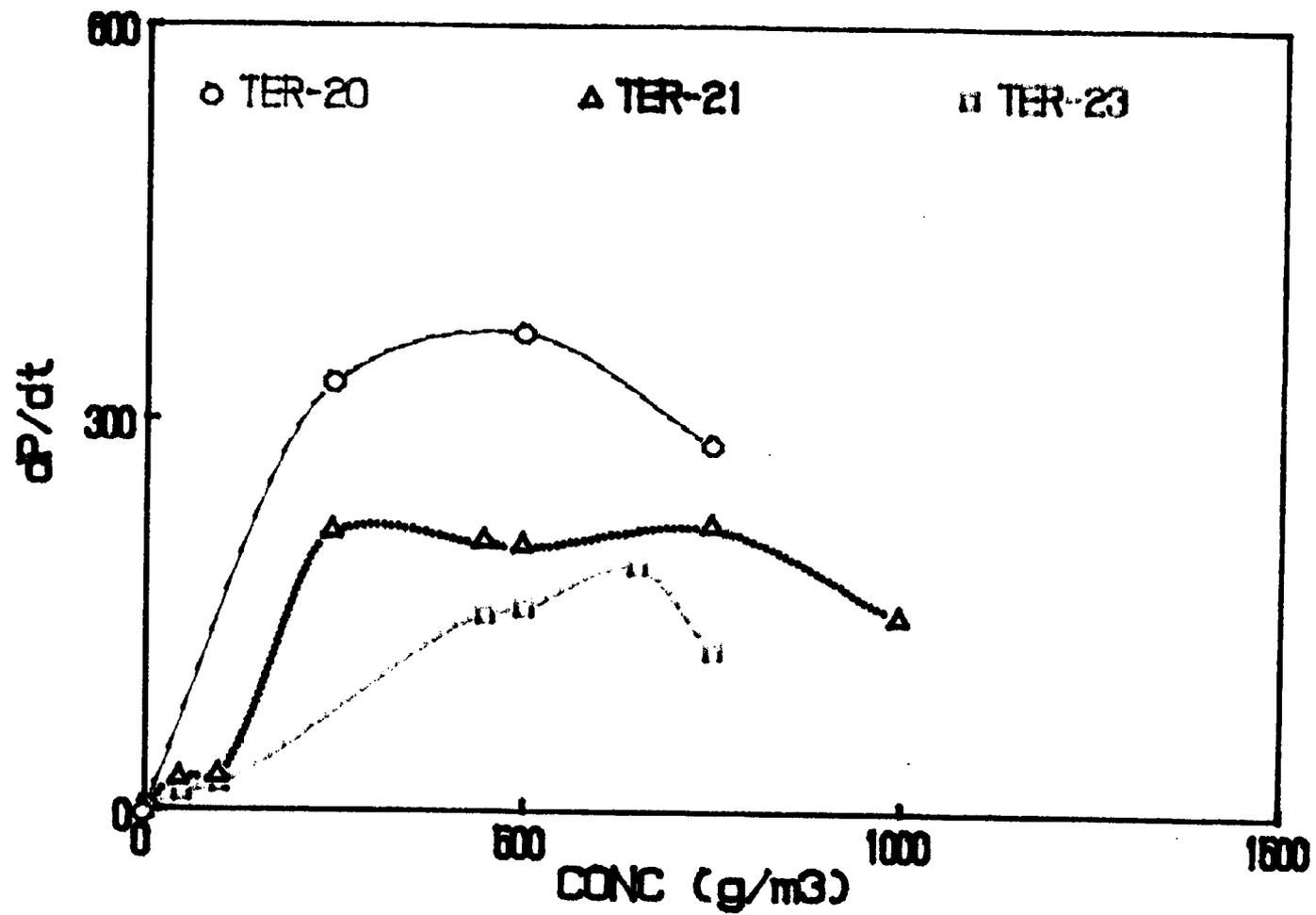
**MINA PATRICIA**





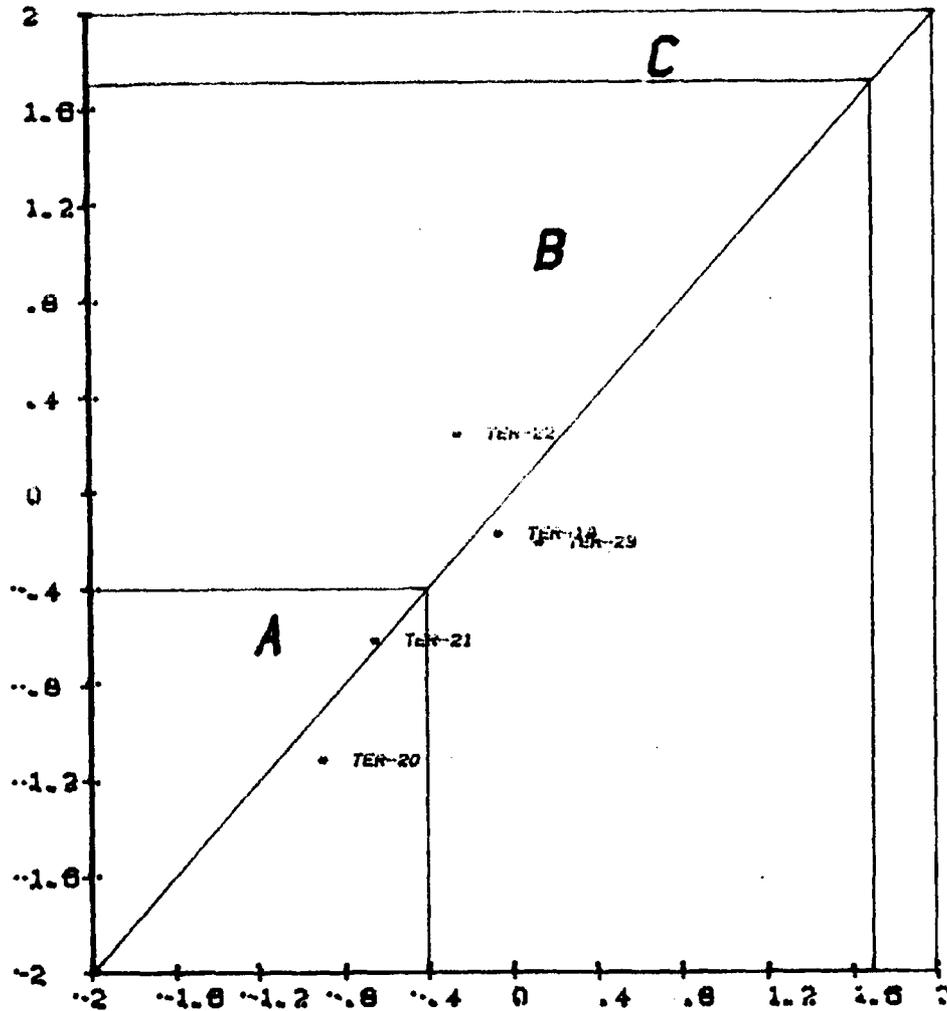






# PATRICIA

VC11



LOM

Peticionarios

ITGE

Proyectos

TERUEL

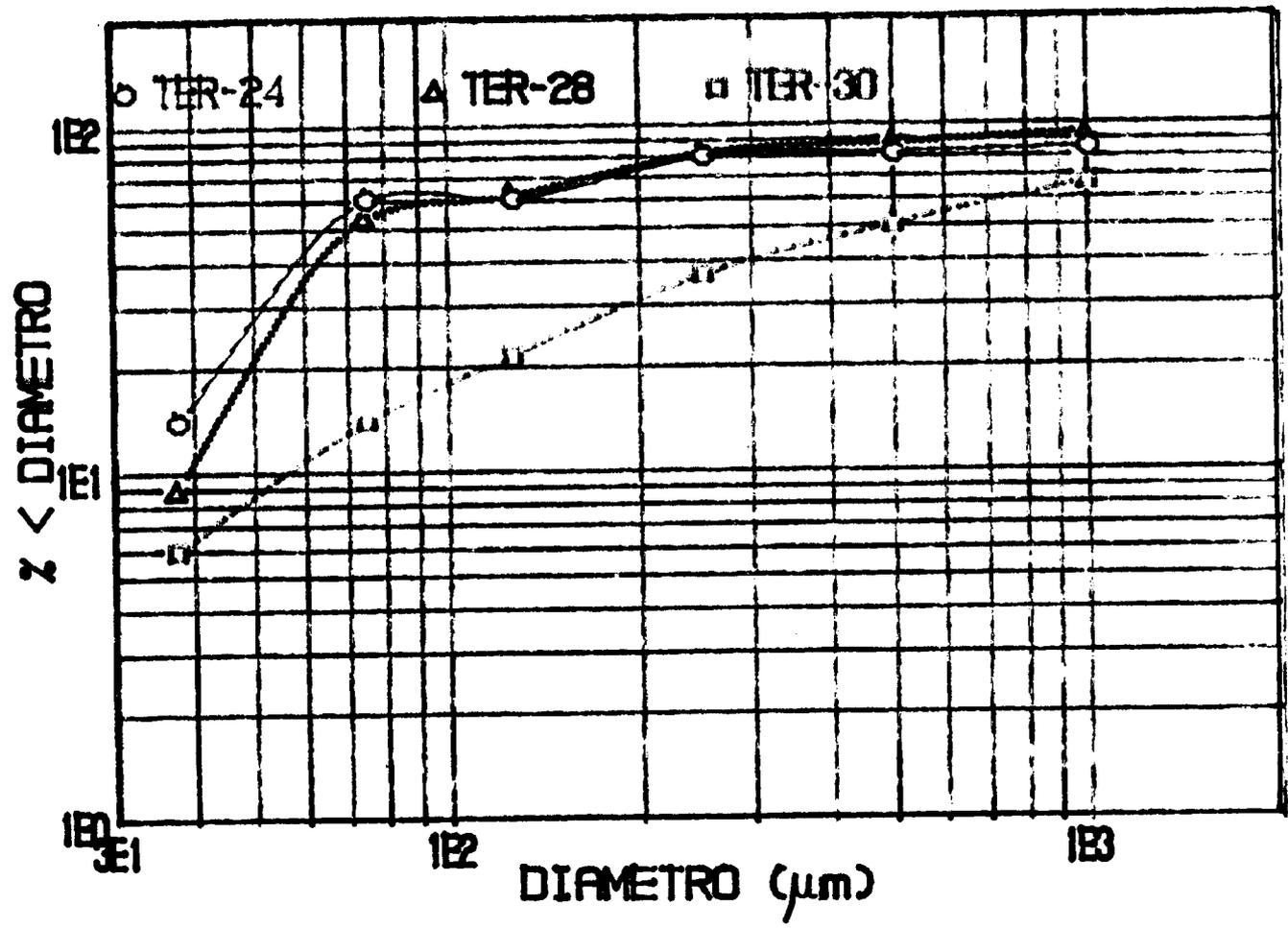
Fecha

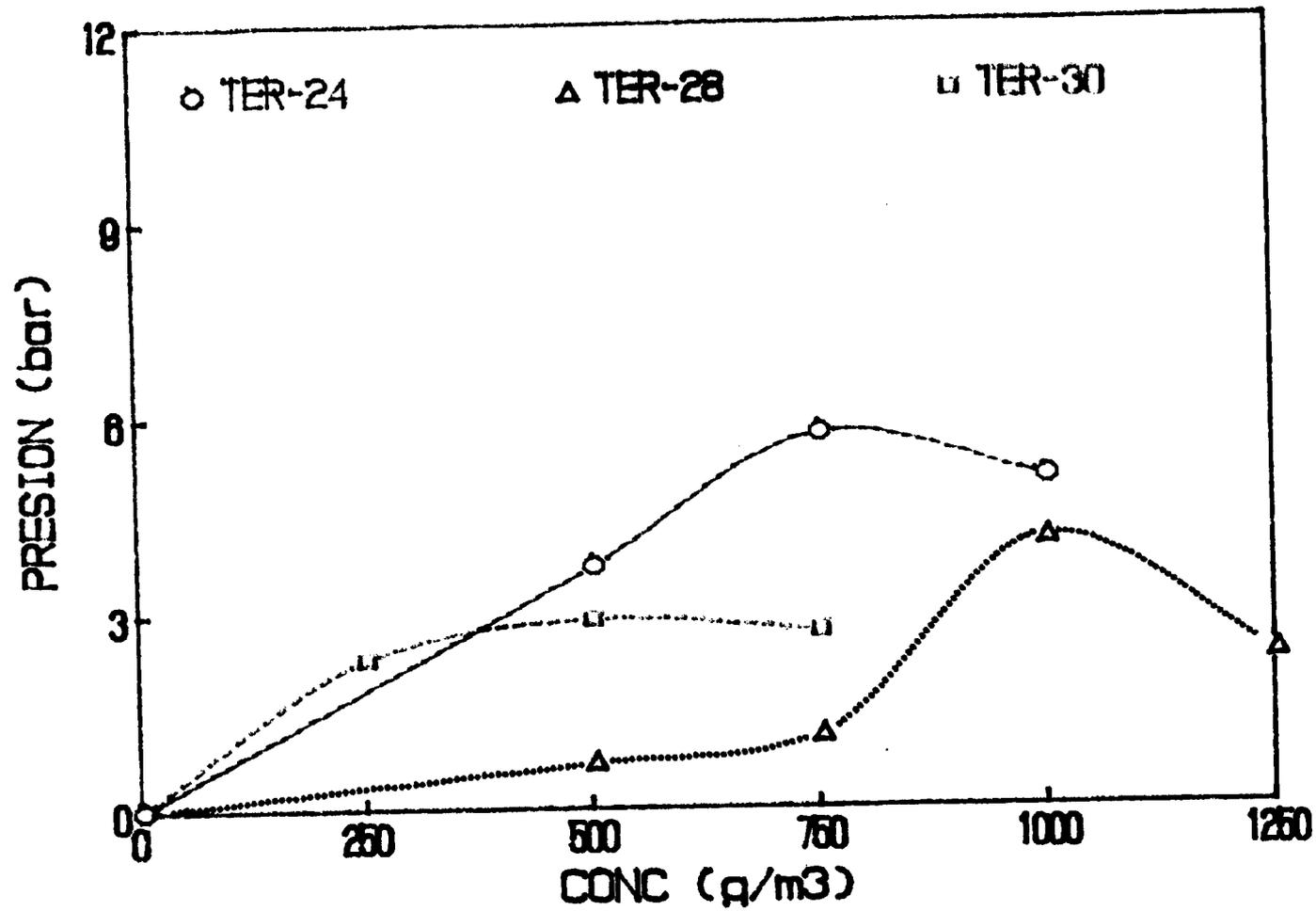
JUNIO/91

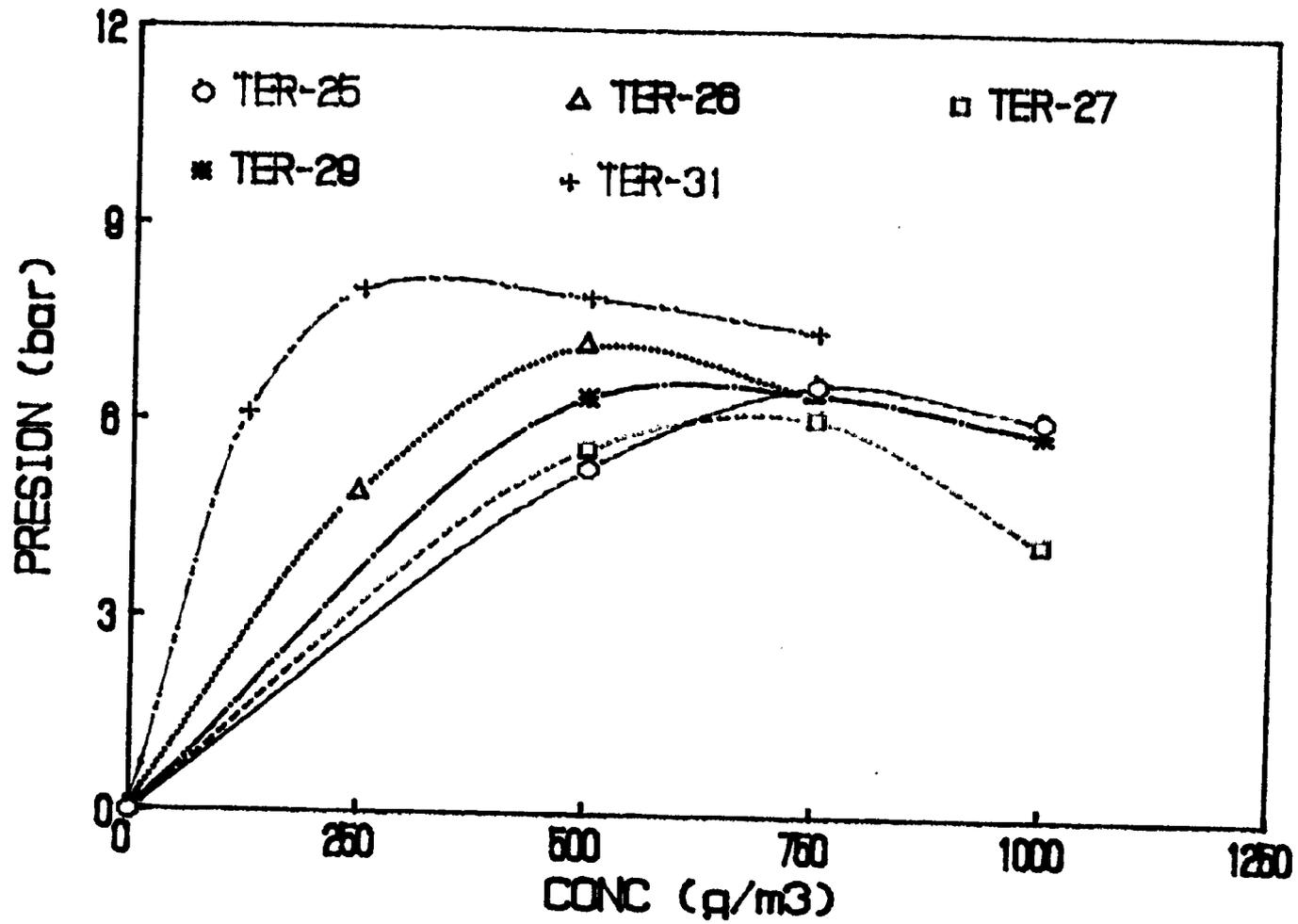
VC12

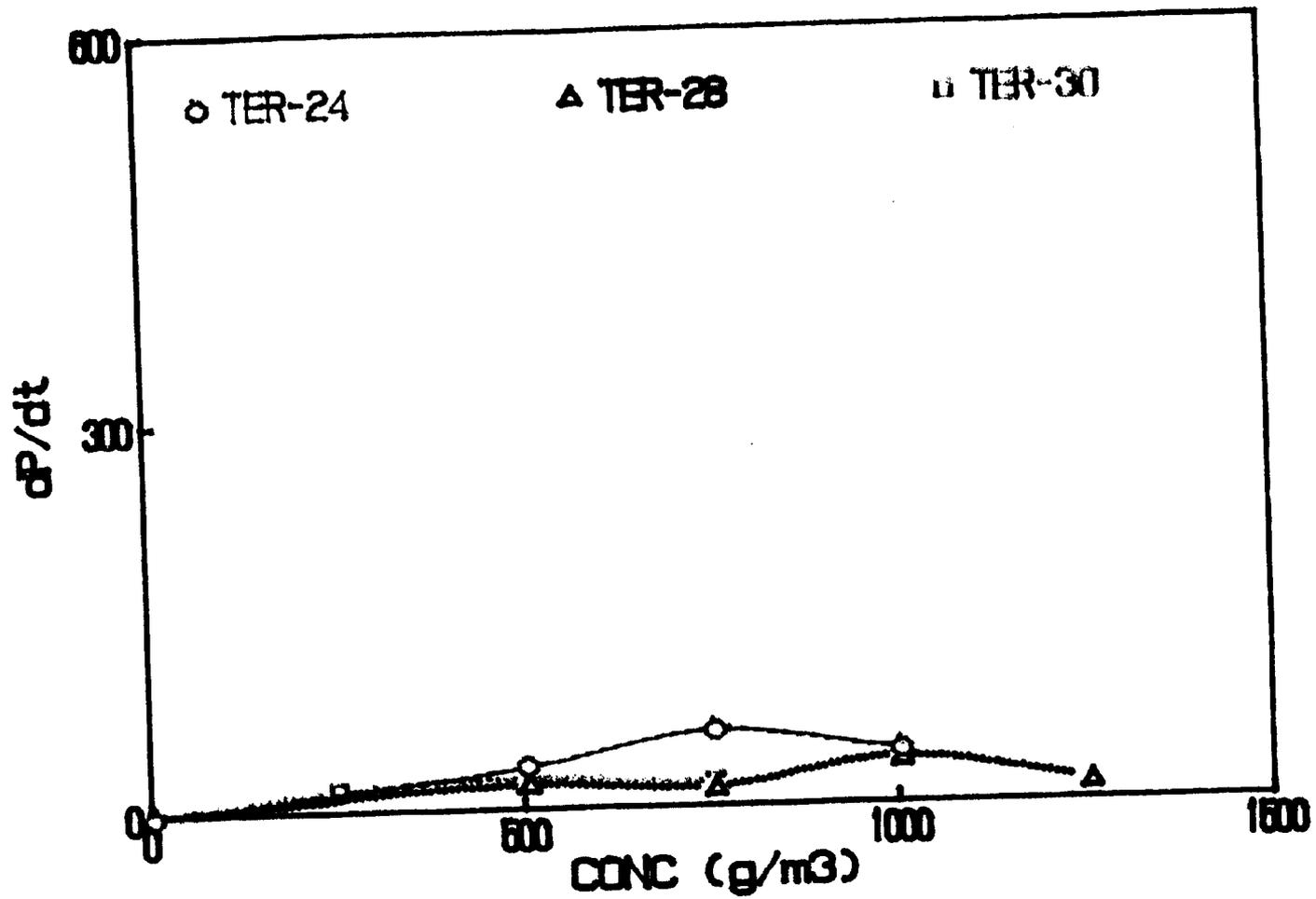
JGT

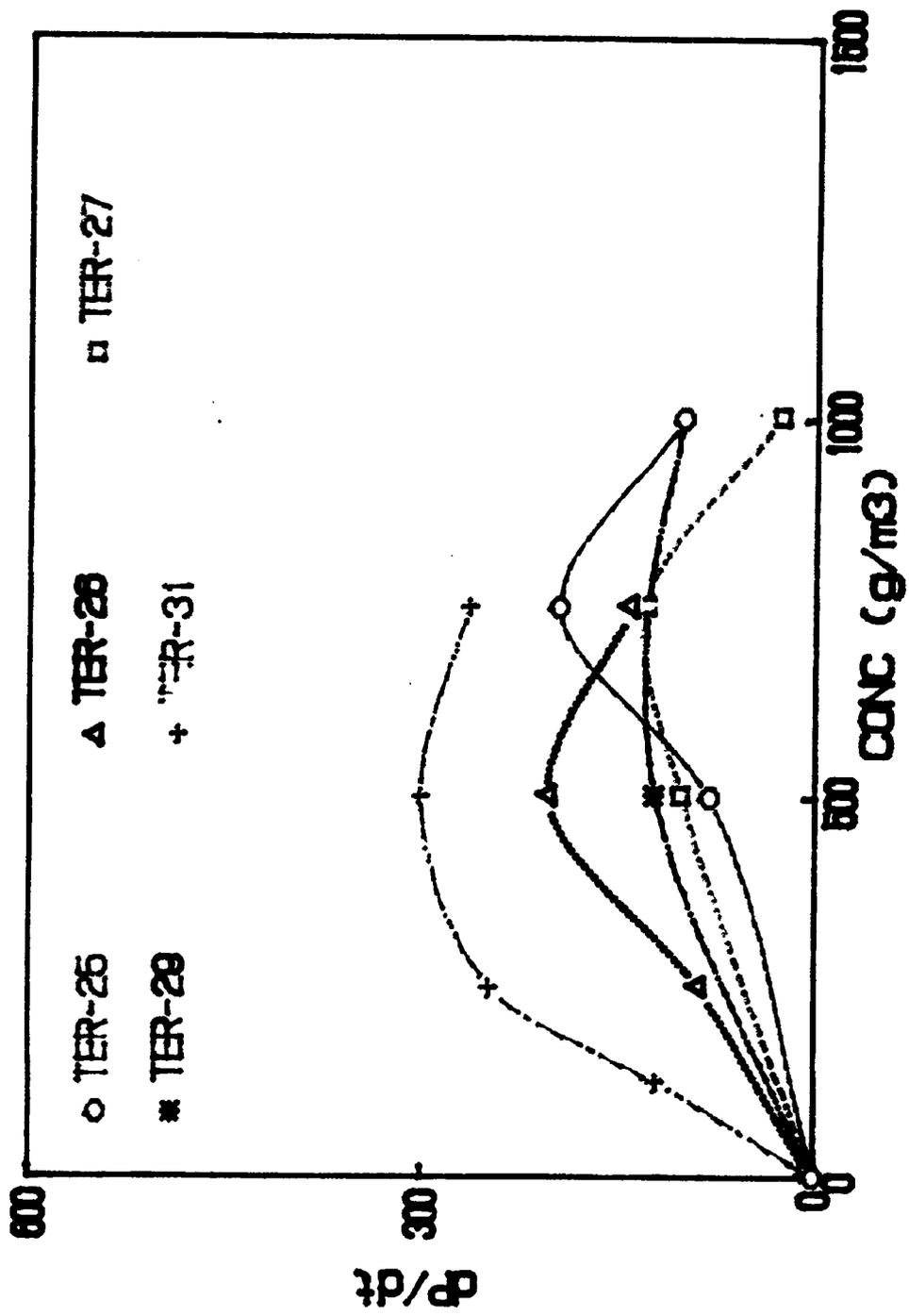
**MINA CAÑIZARA**





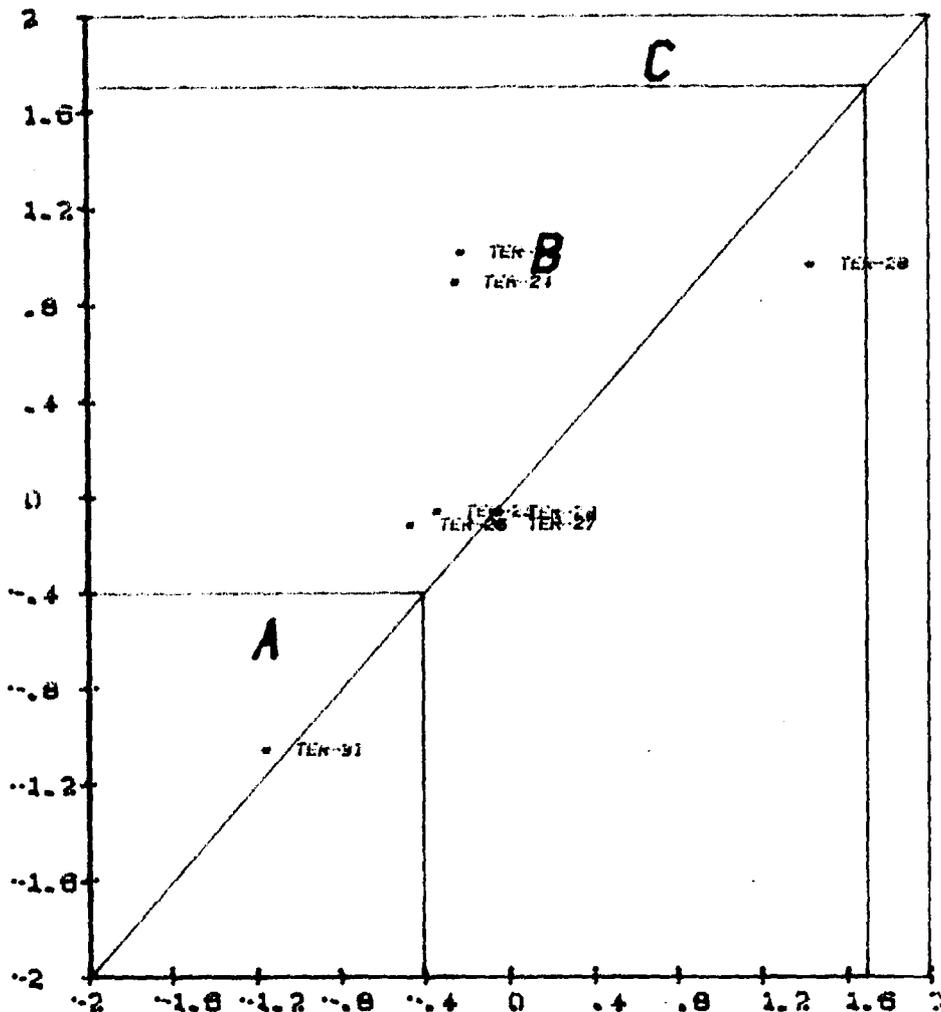






# CANIZARA

VC11



**LOM**

**Peticionario:**

**ITGE**

**Proyecto:**

**TERUEL**

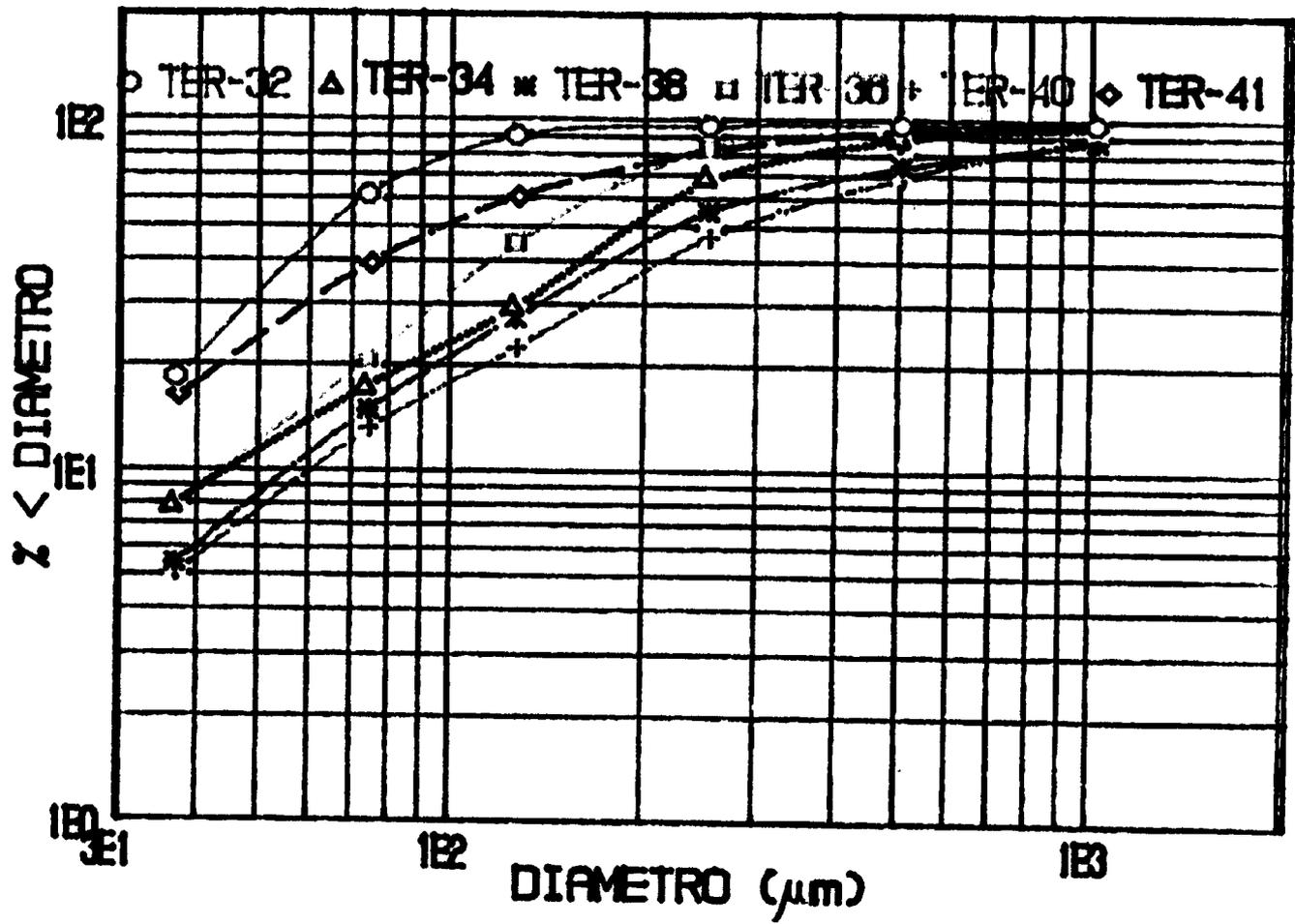
**Fecha:**

**JUNIO/91**

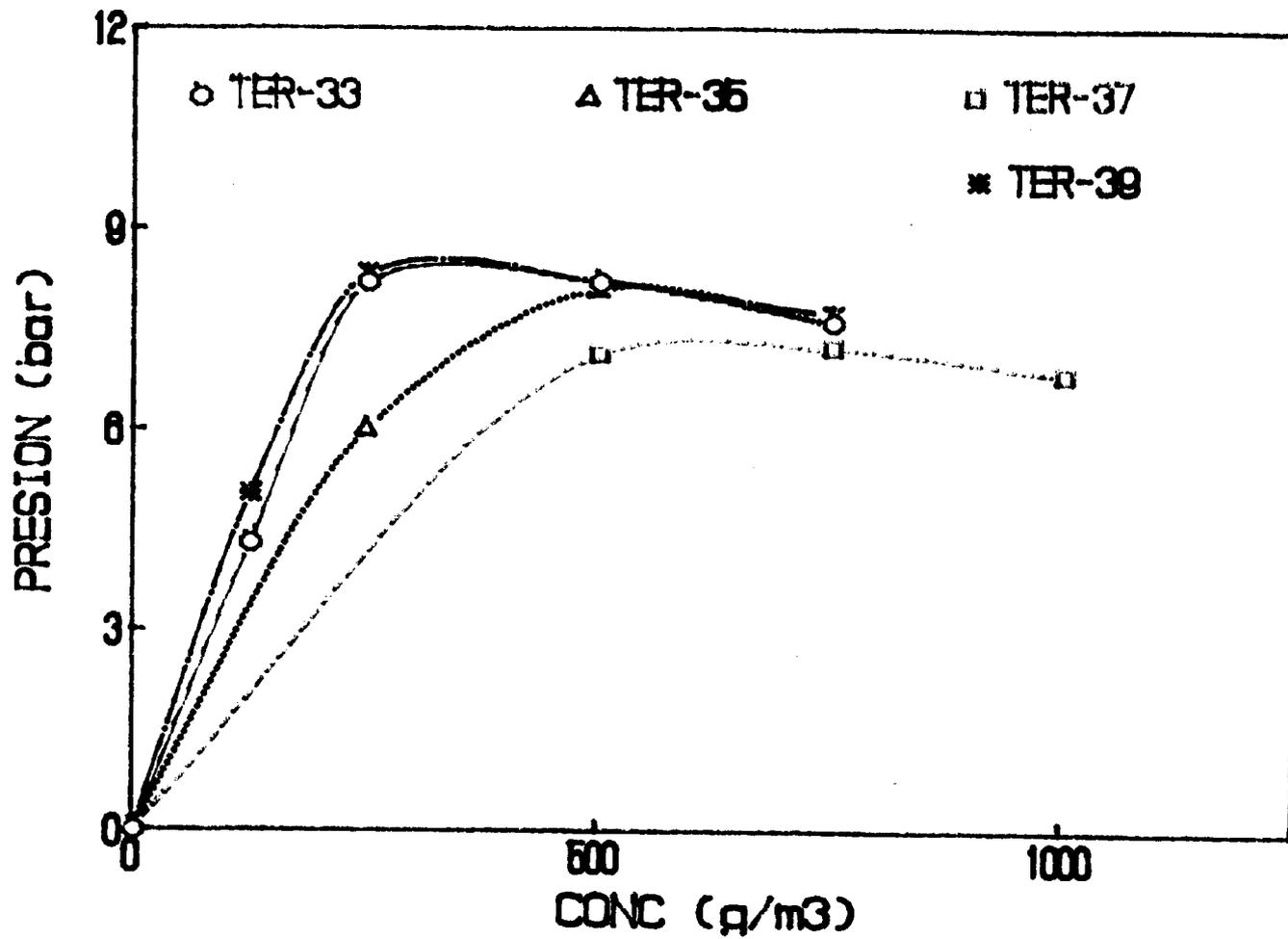
VC12

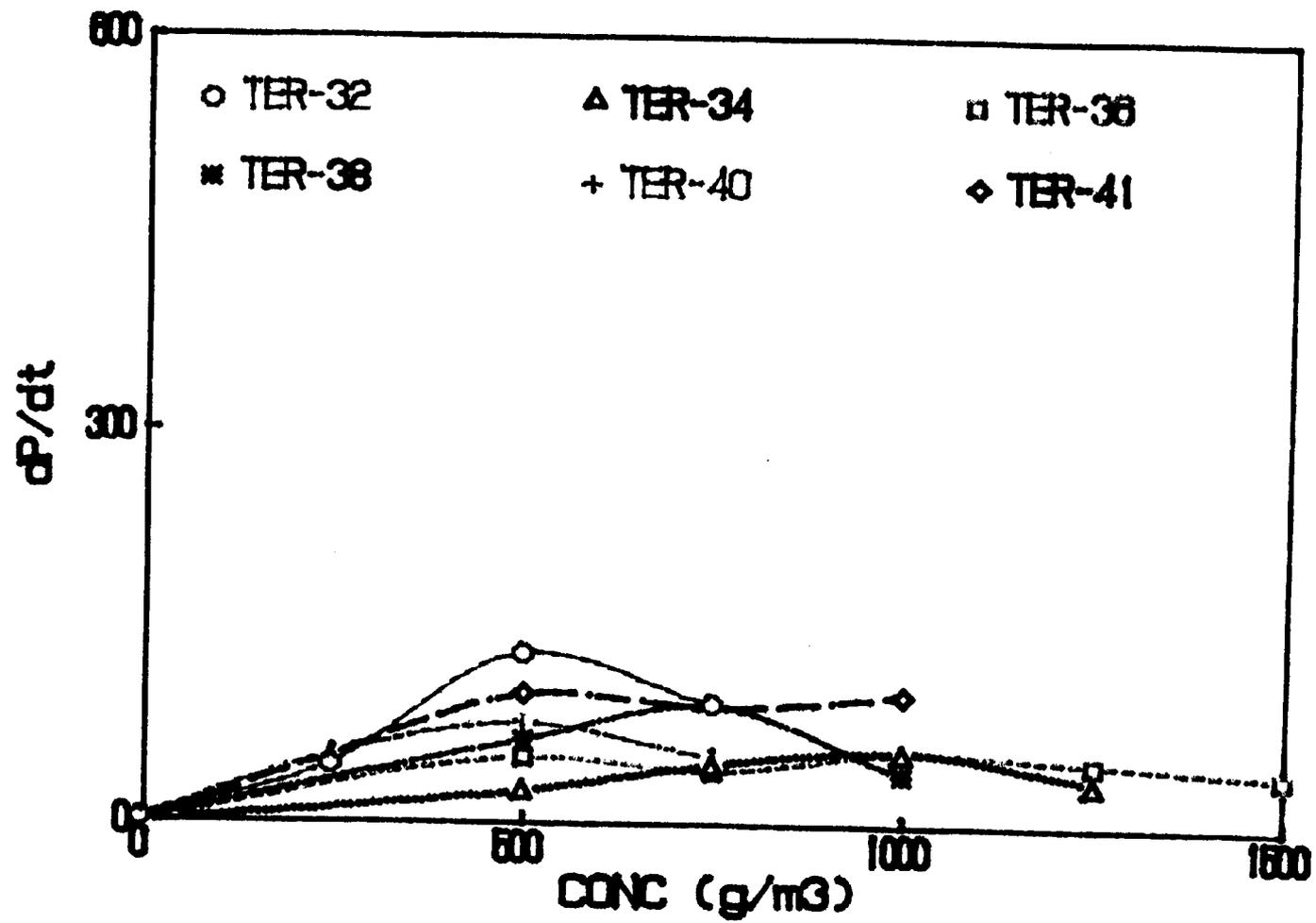
JGT

**MINA SANTA MARIA**



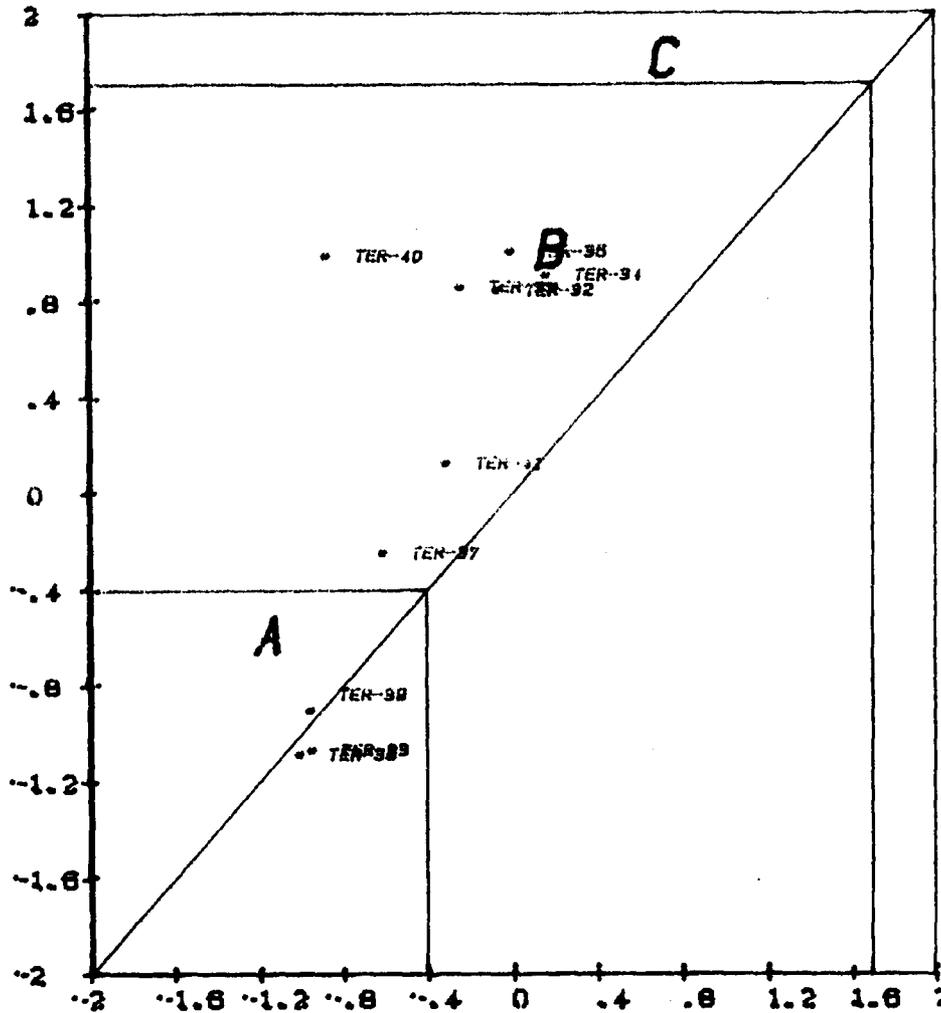






# STA. MARIA

VC11



LOM

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

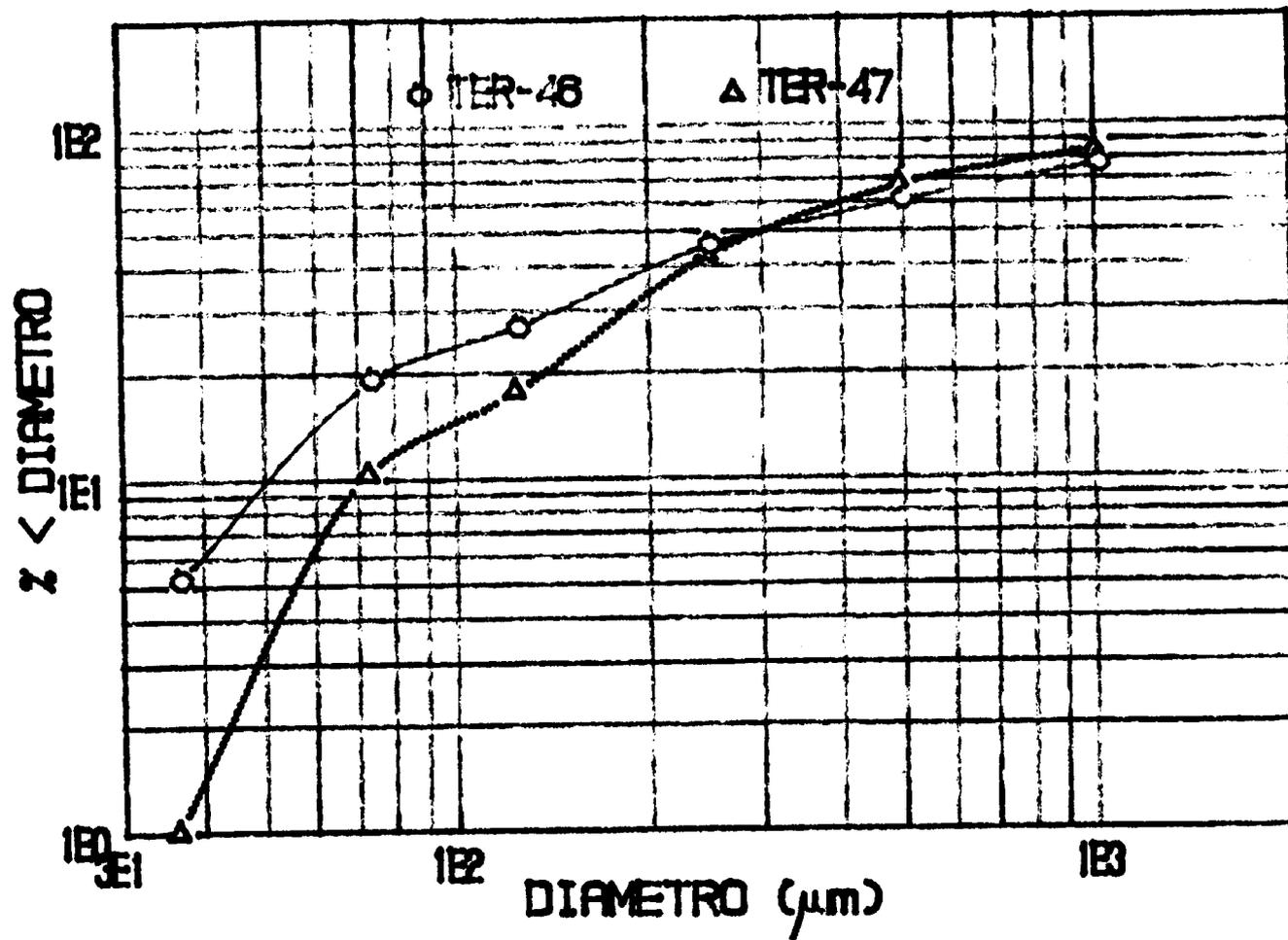
Fecha:

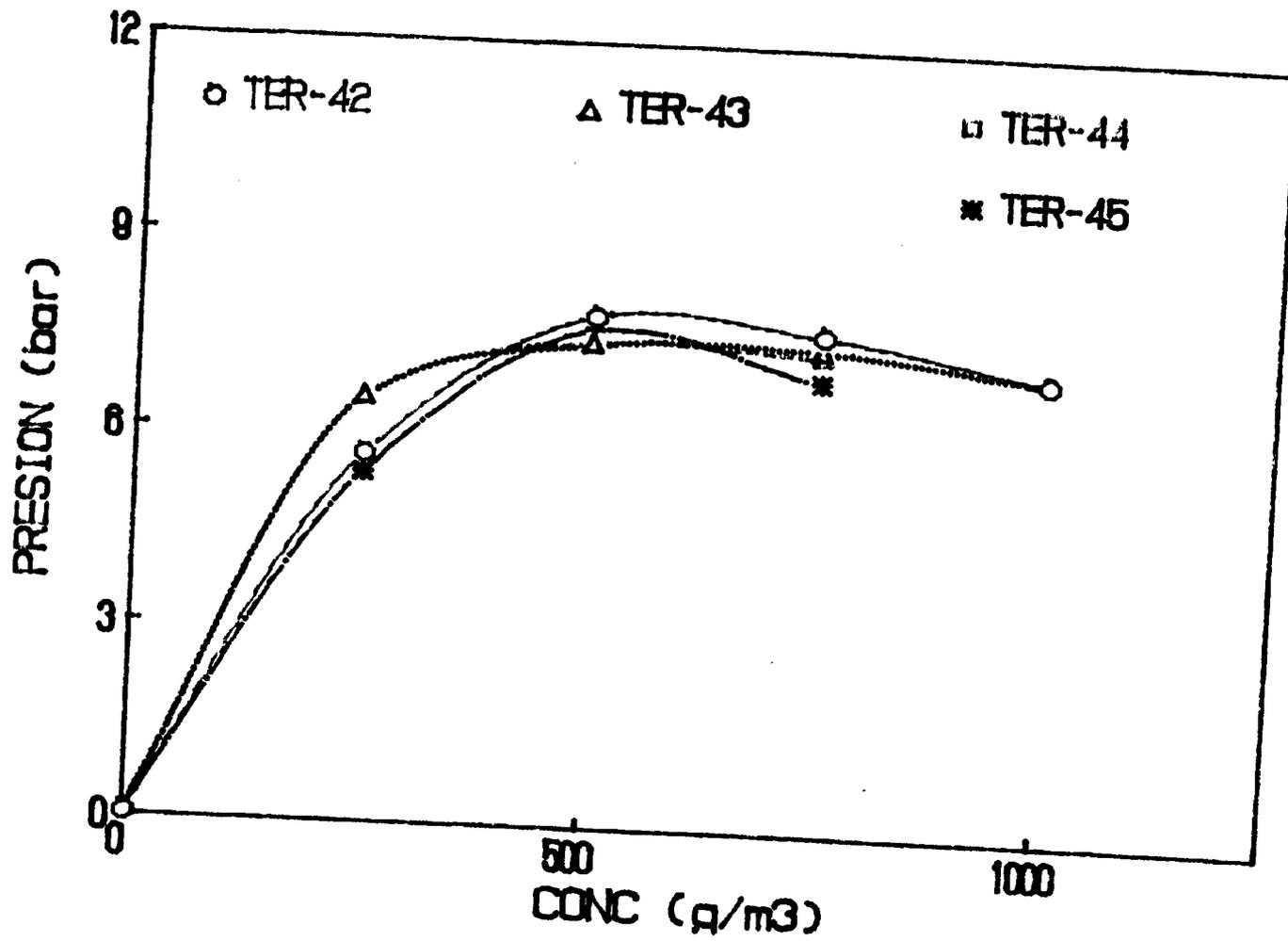
JUNIO/91

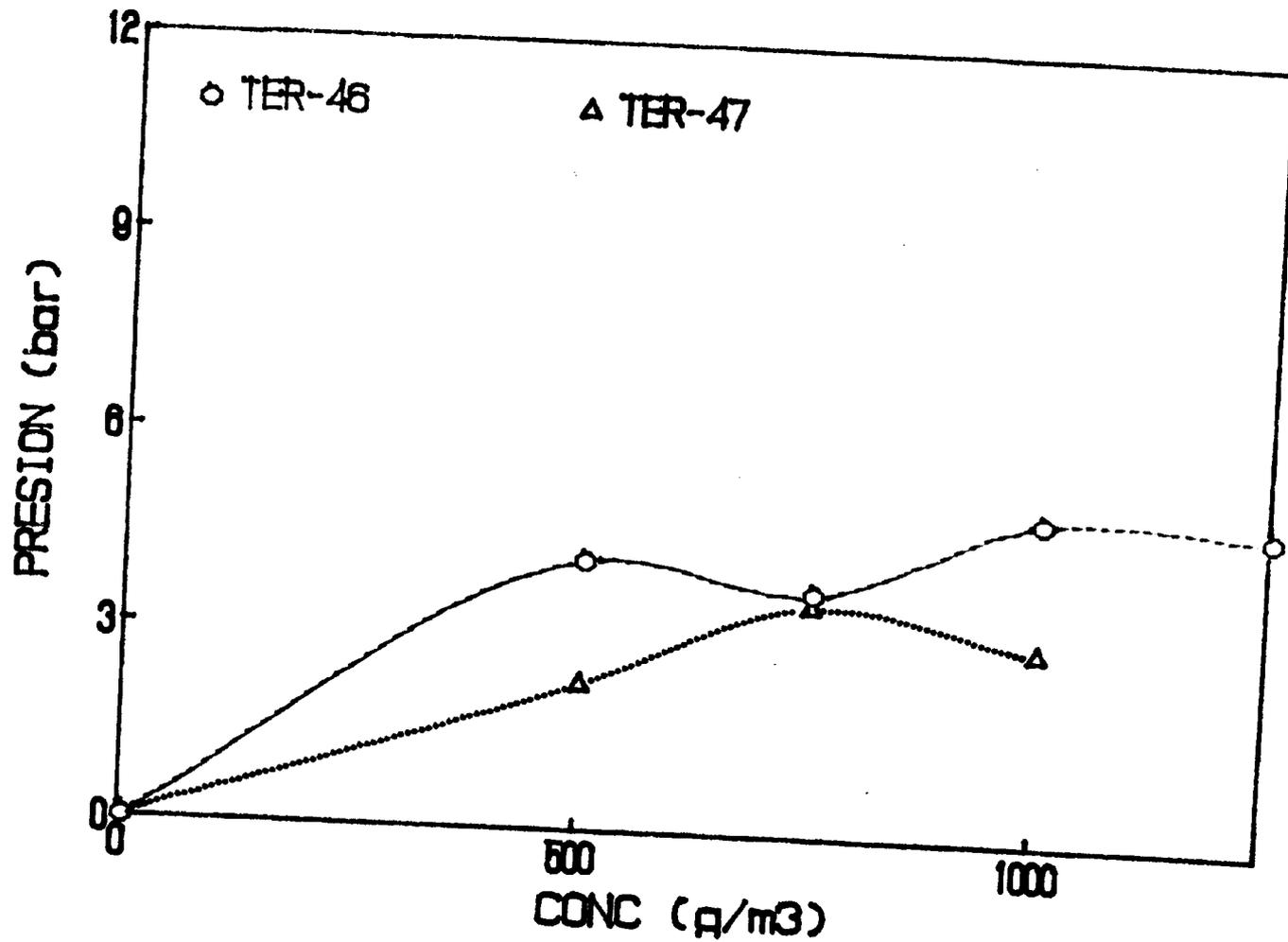
VC12

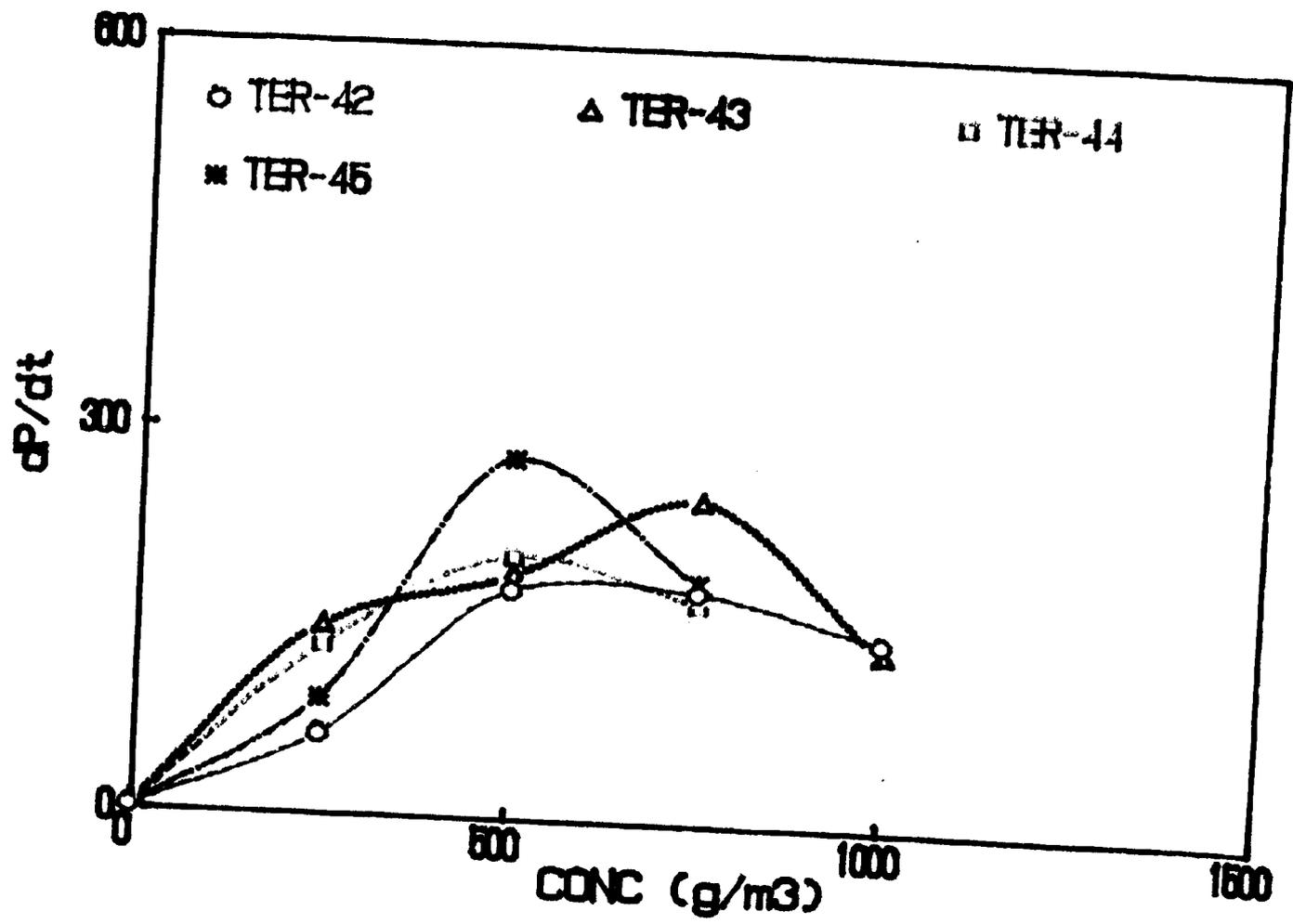
JGT

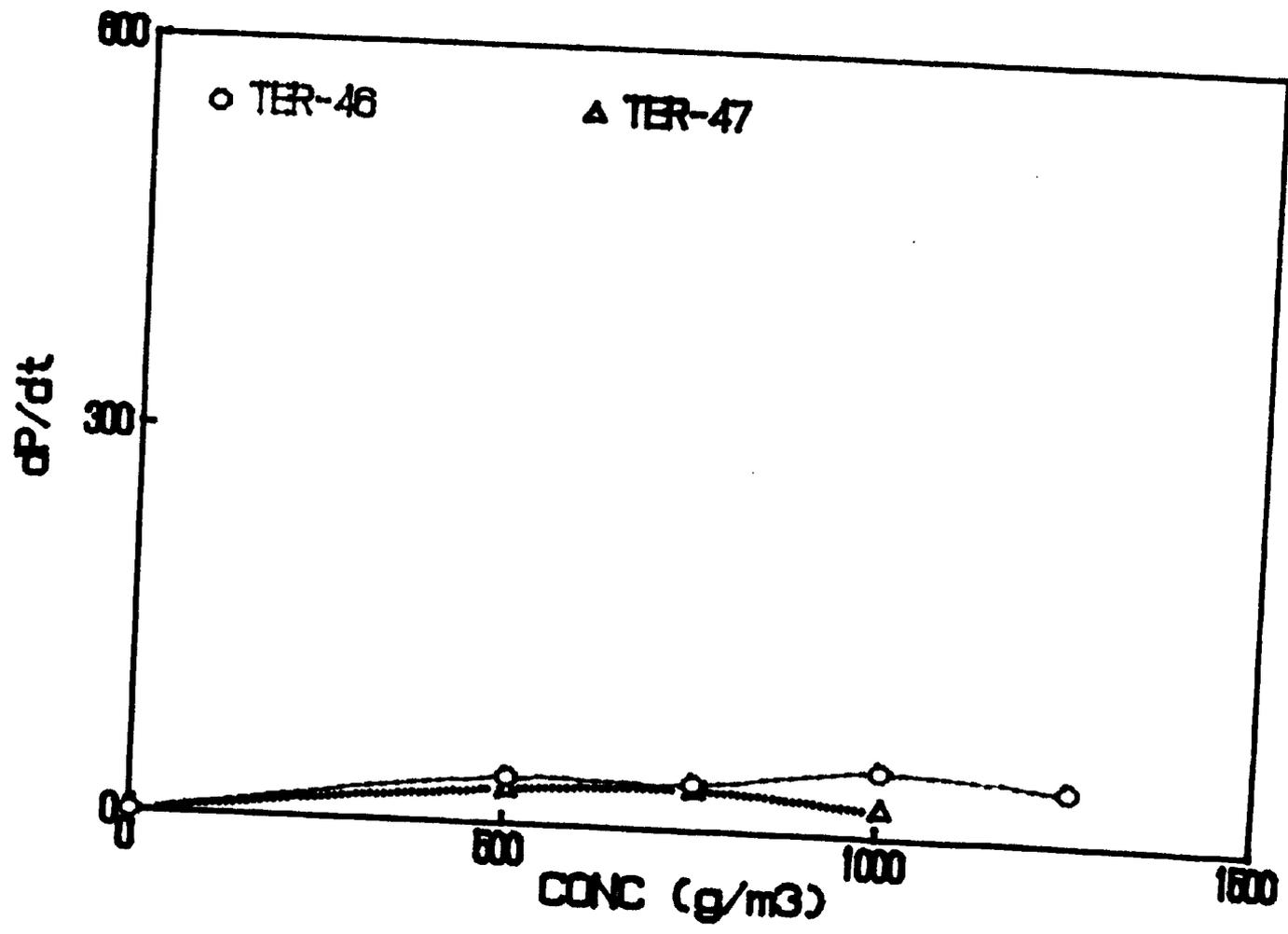
**POZO PILAR**





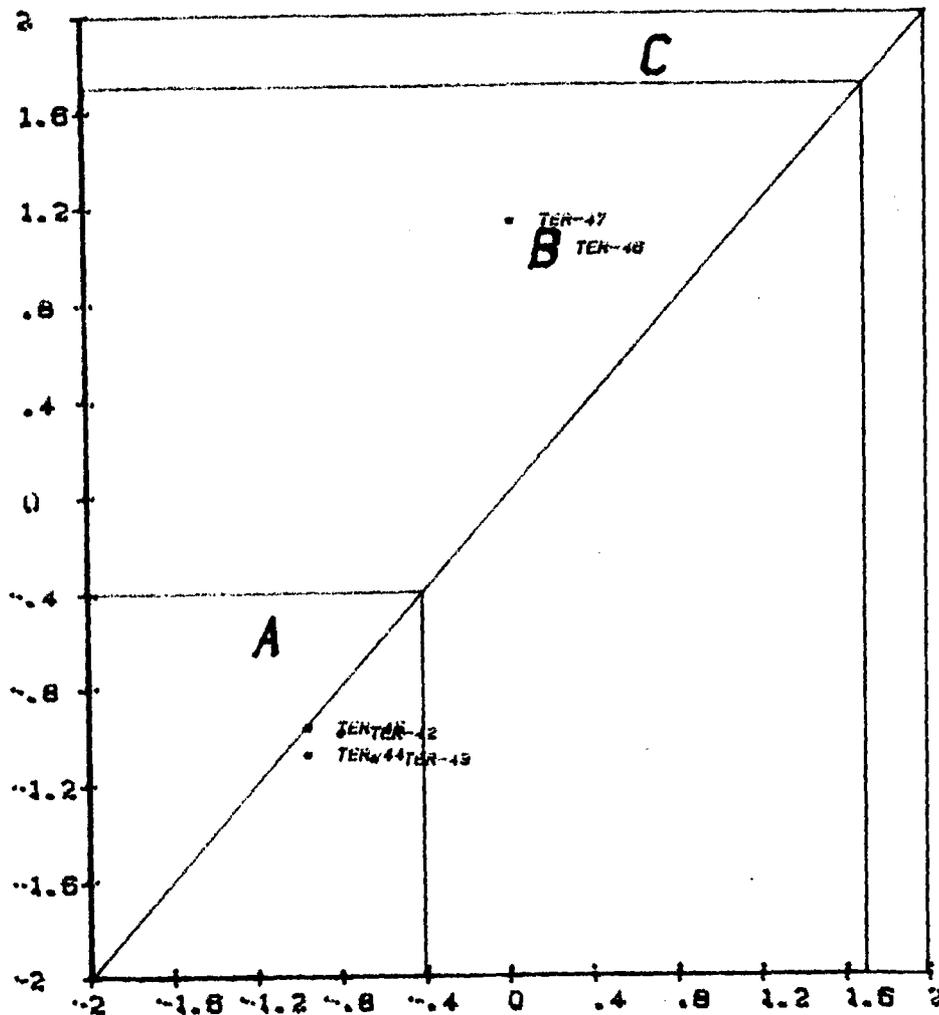






# P. PILAR

VC11



**LOM**

Peticionarios:

ITGE

Proyectos:

TERUEL

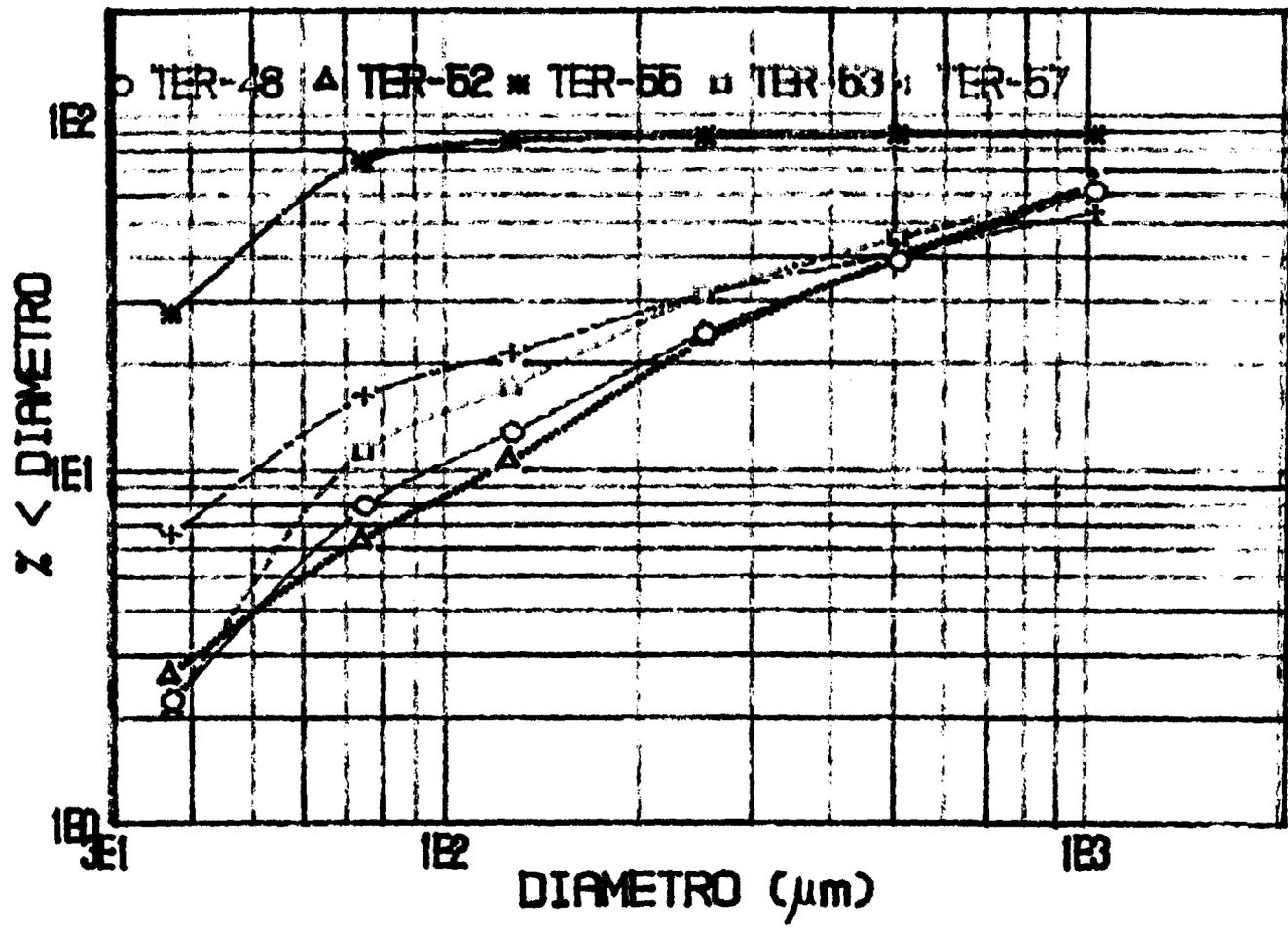
Fecha:

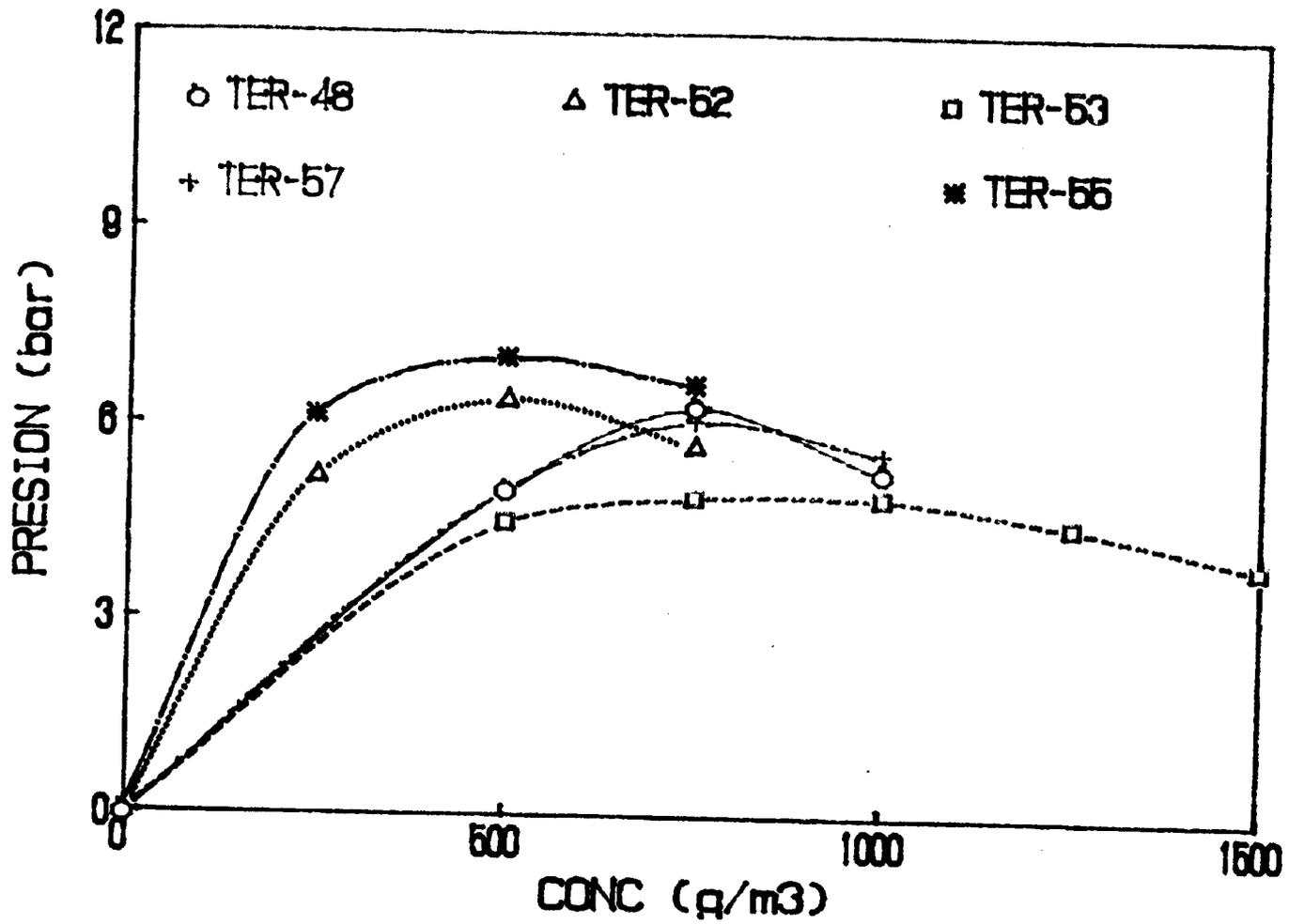
JUNIO/91

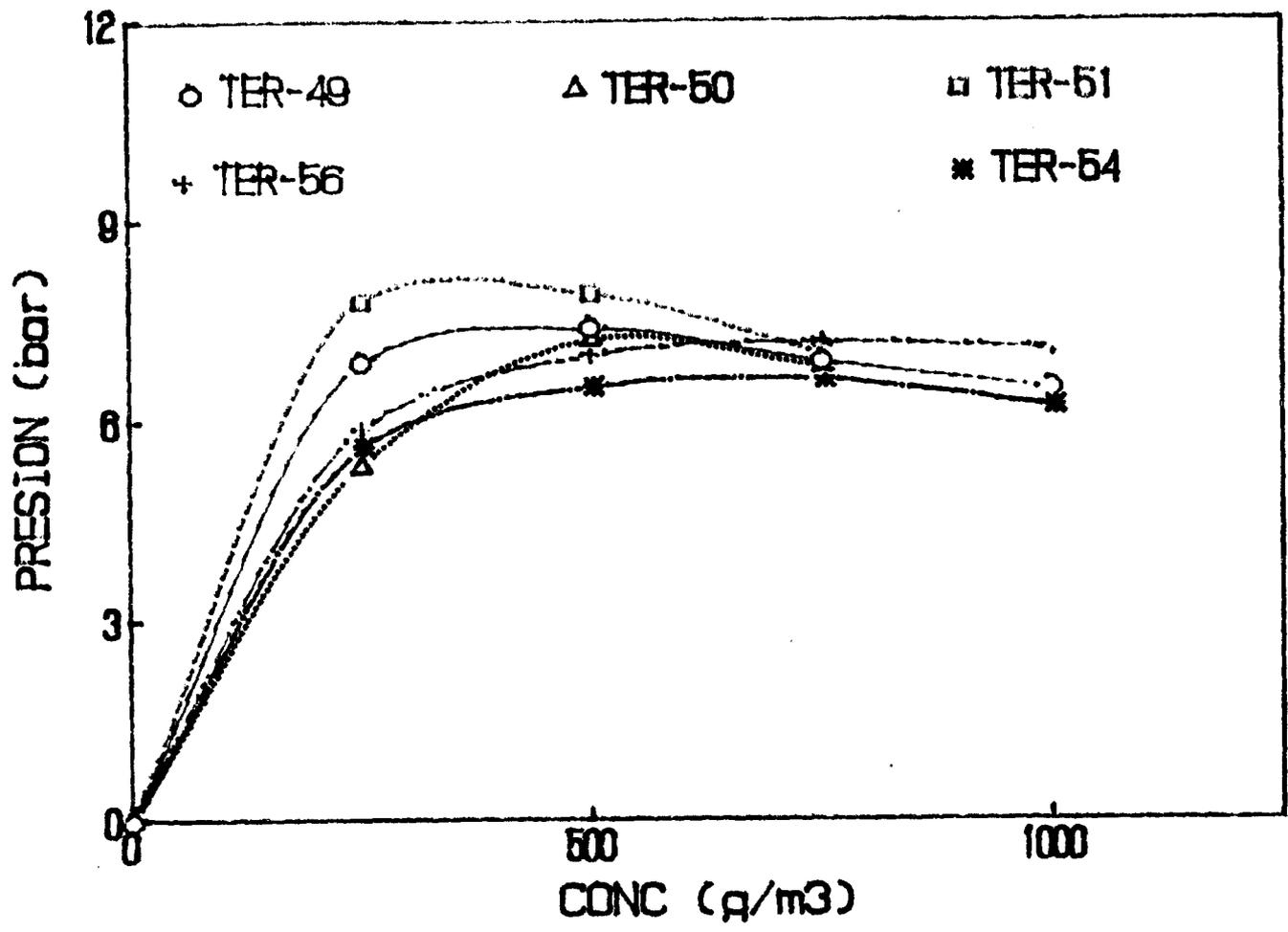
VC12

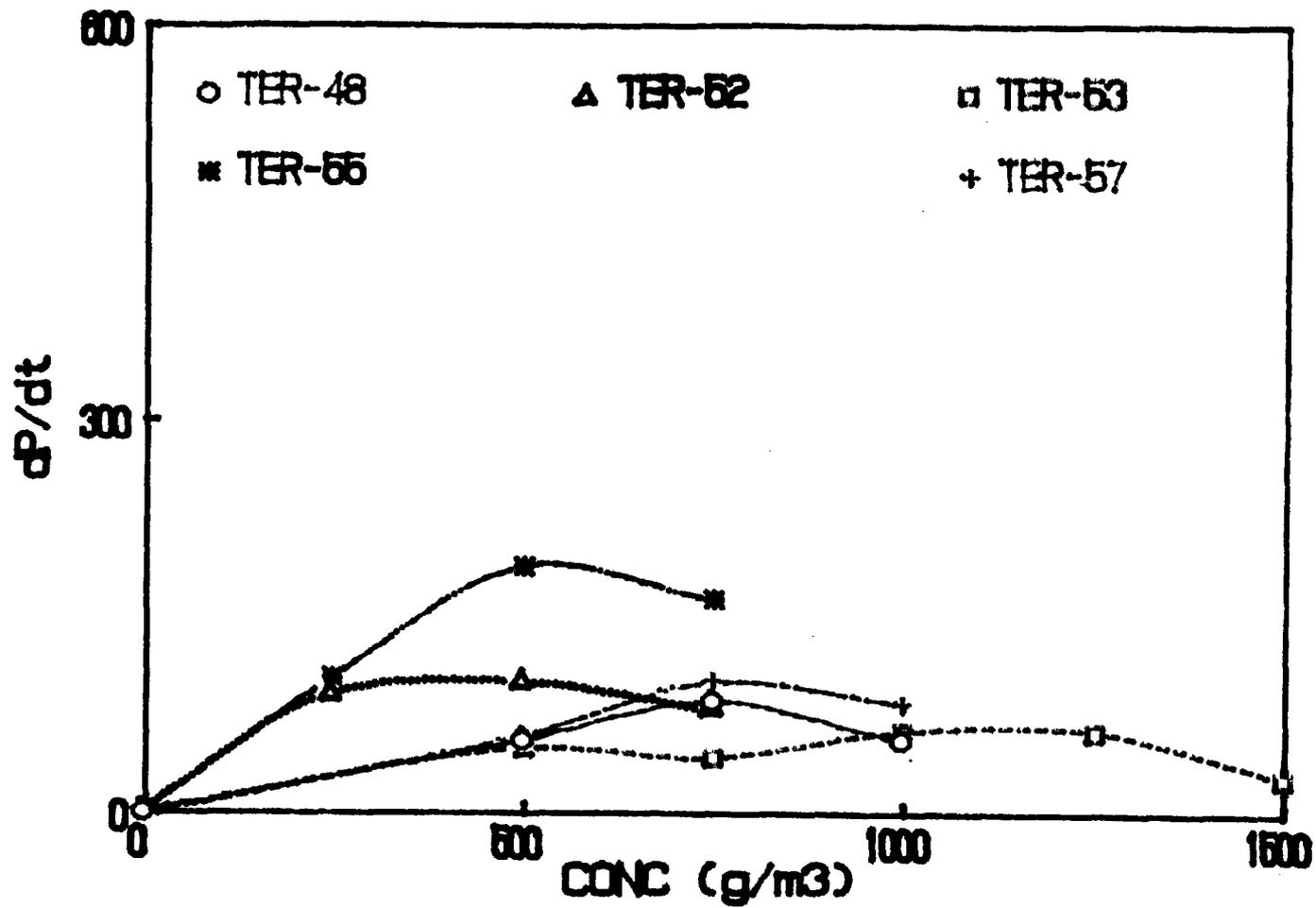
JGT

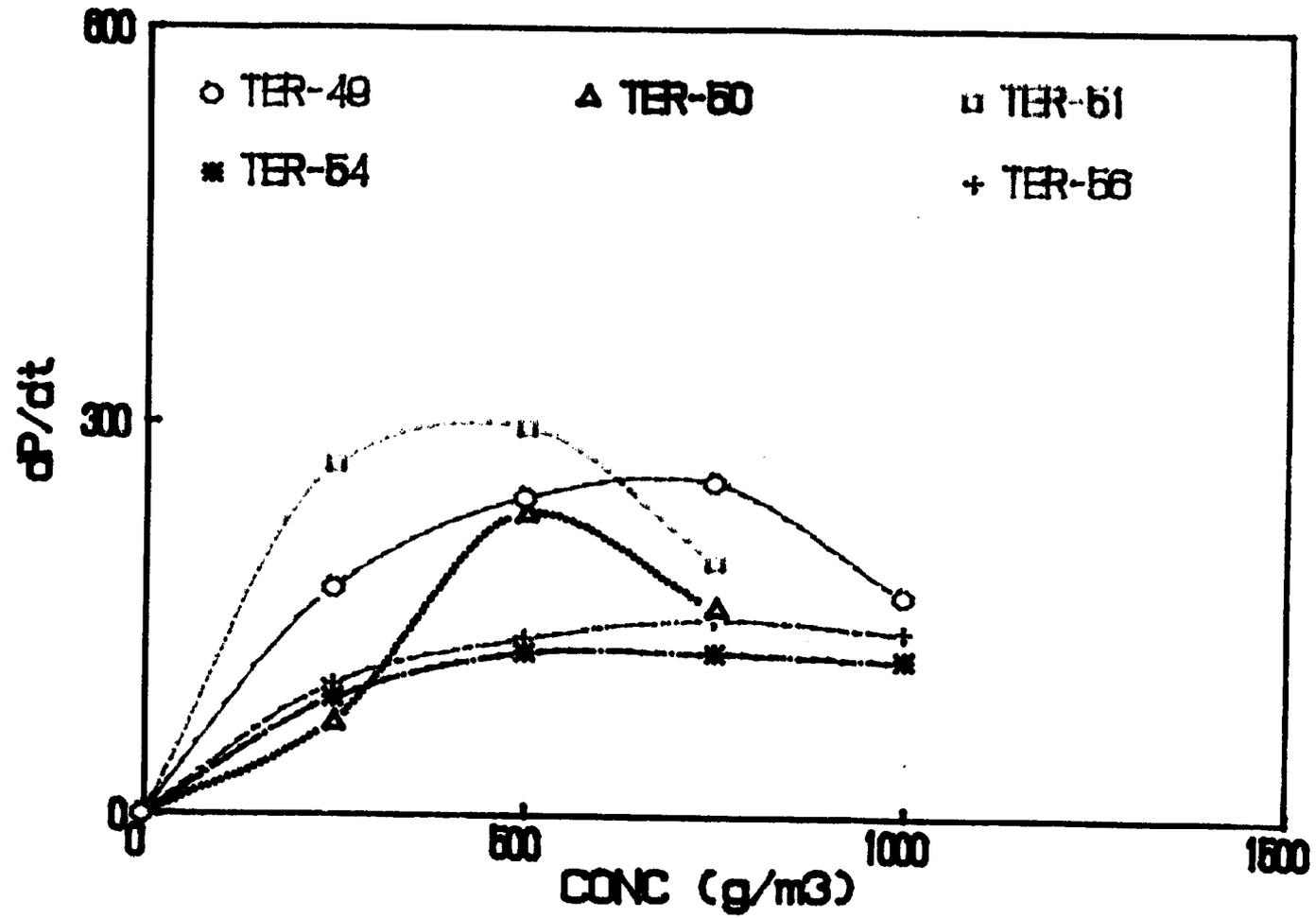
**MINA AUN HAY CASO**





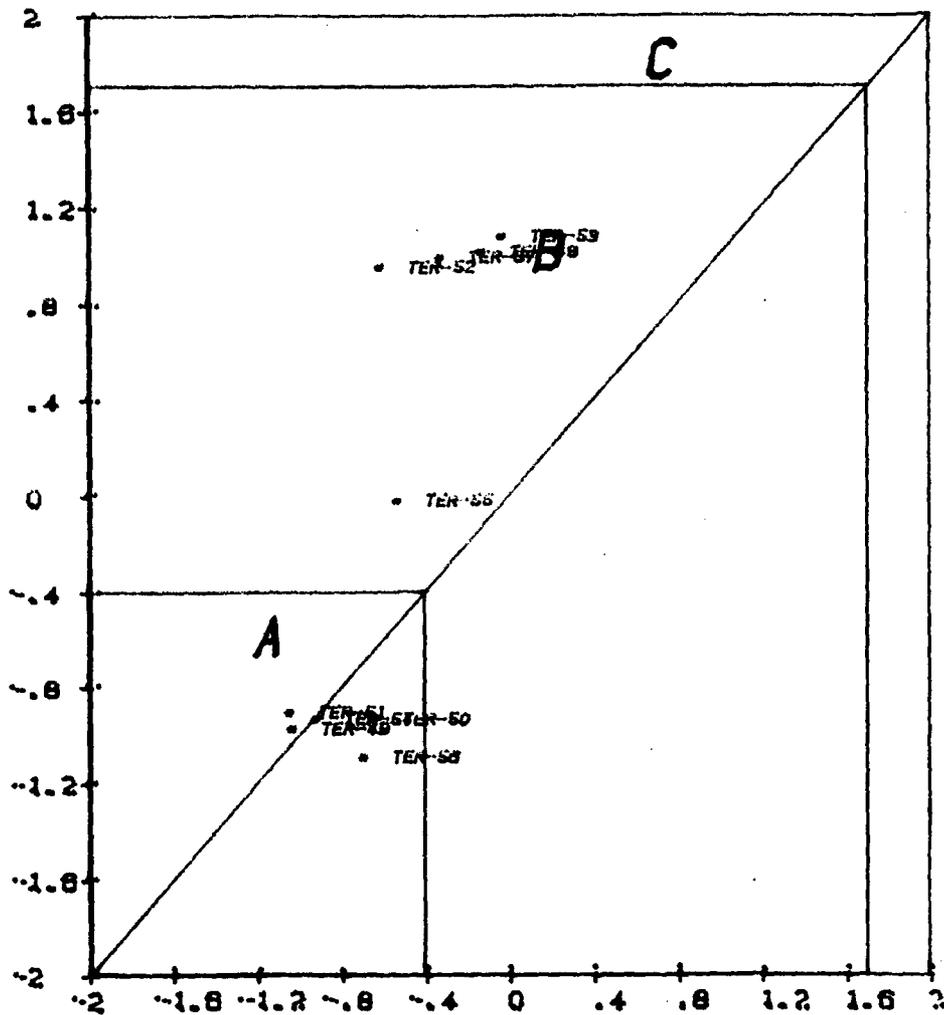






# AUN HAY CASO

VC11



LOM

Peticionarios

ITGE

Proyectos

TERUEL

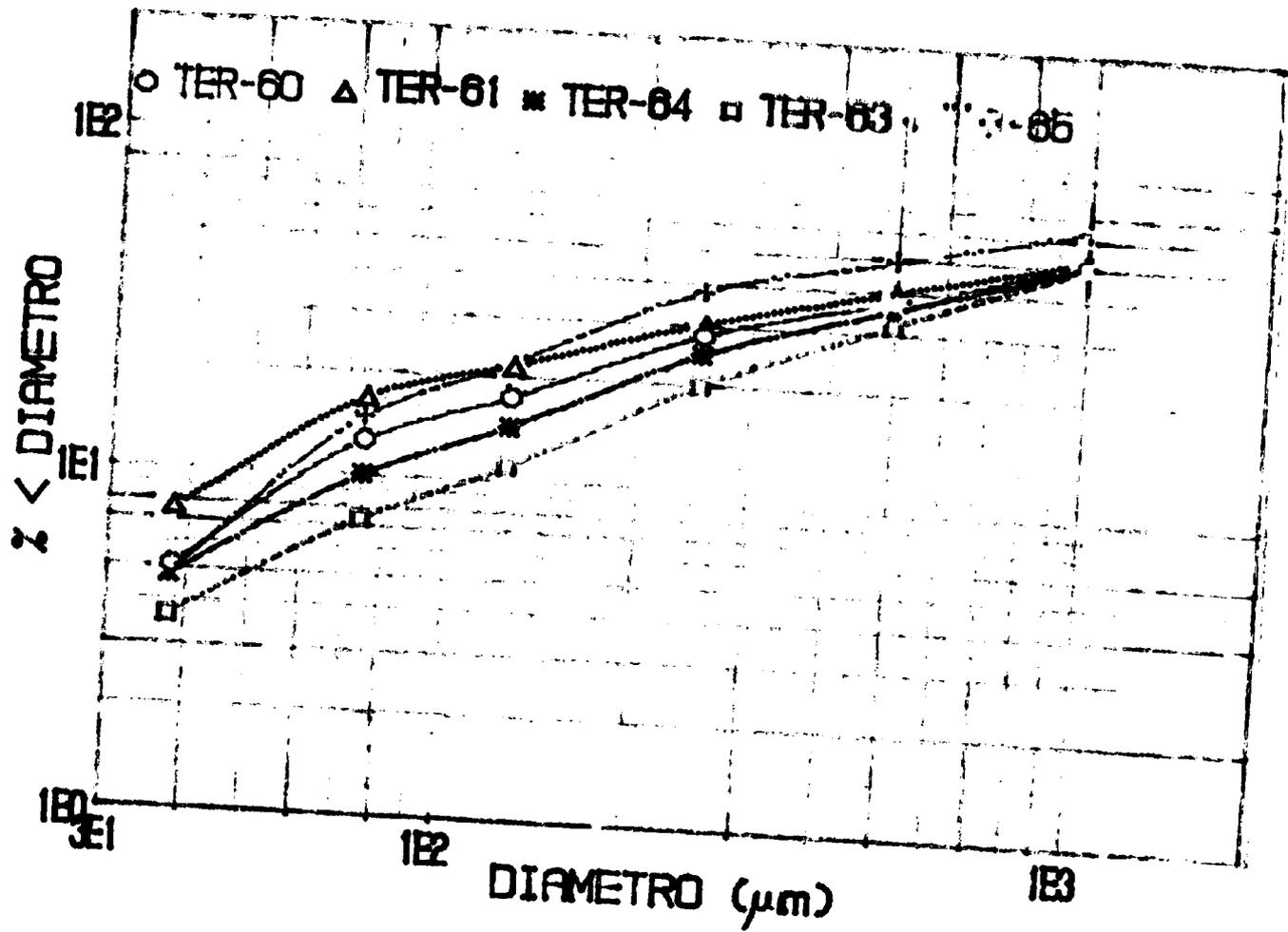
Fecha

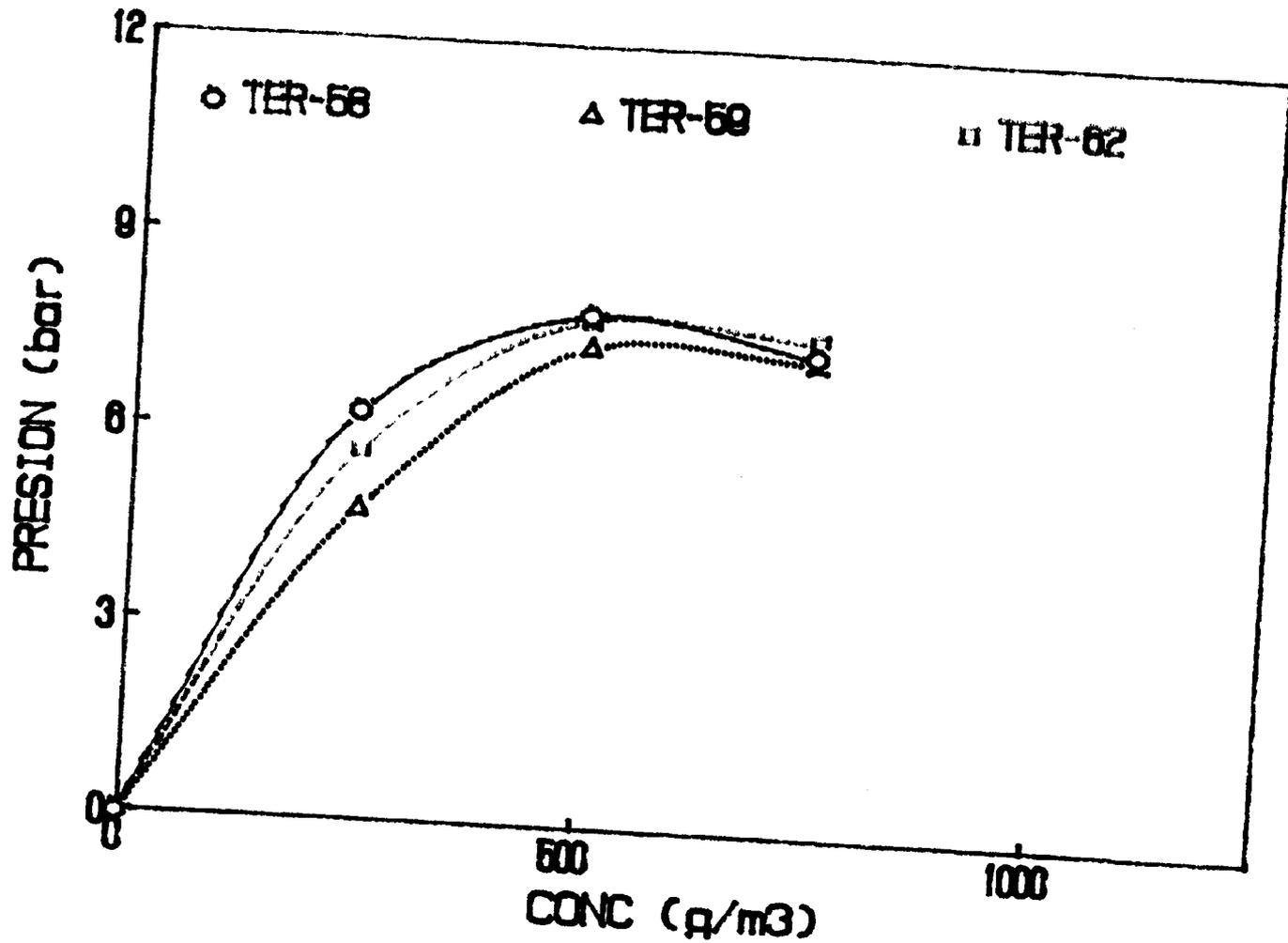
JUNIO/91

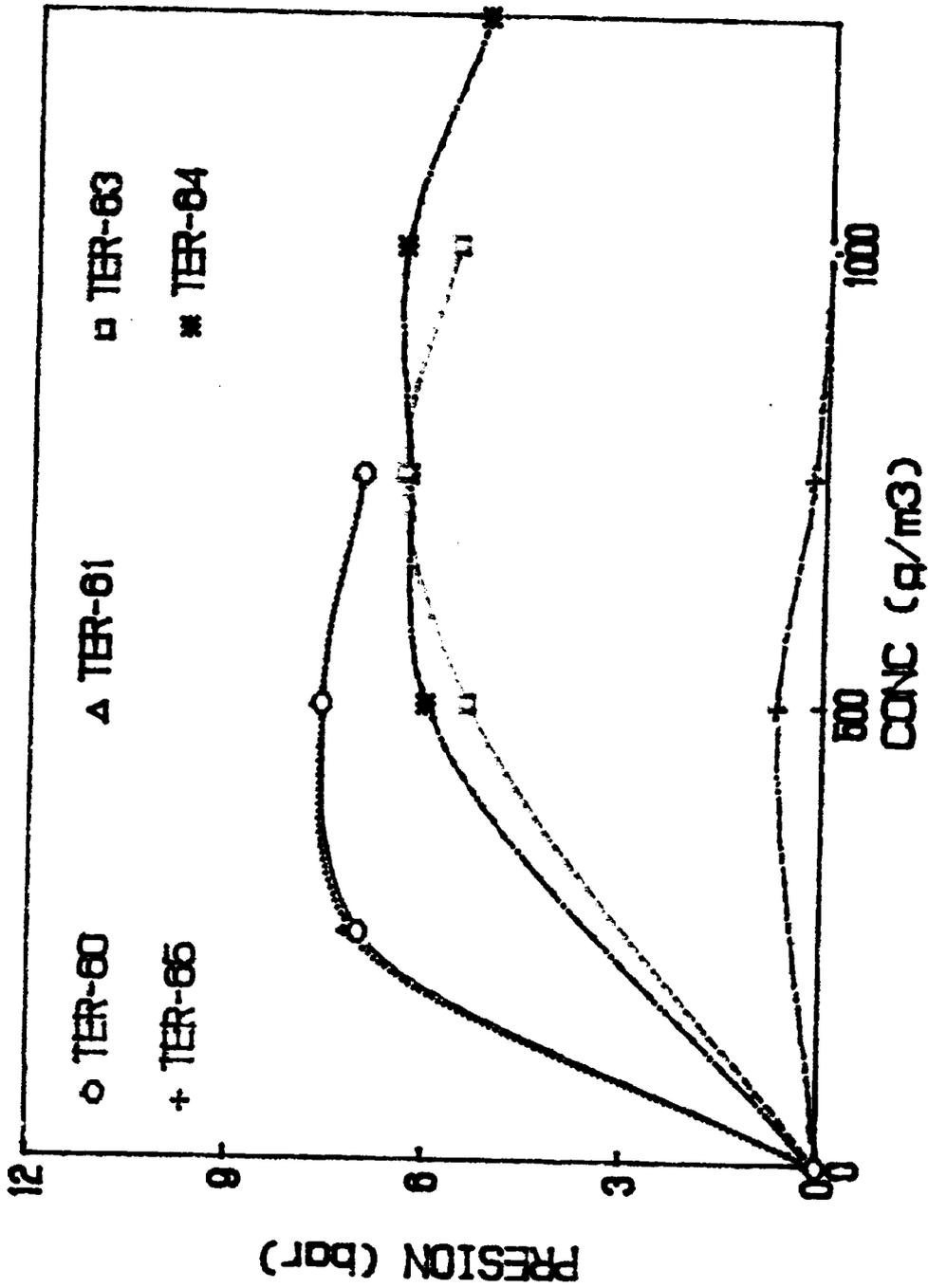
VC12

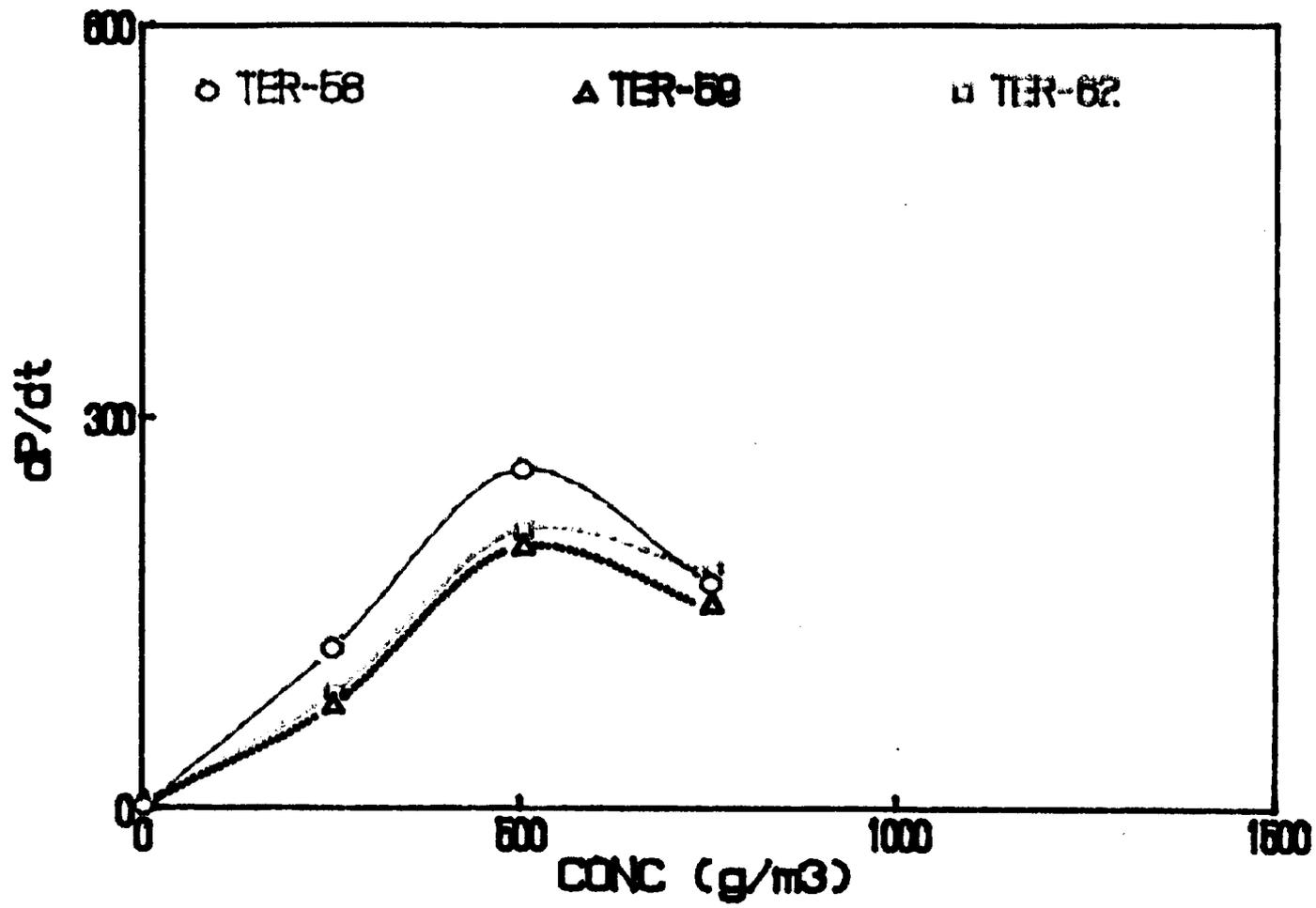
JGT

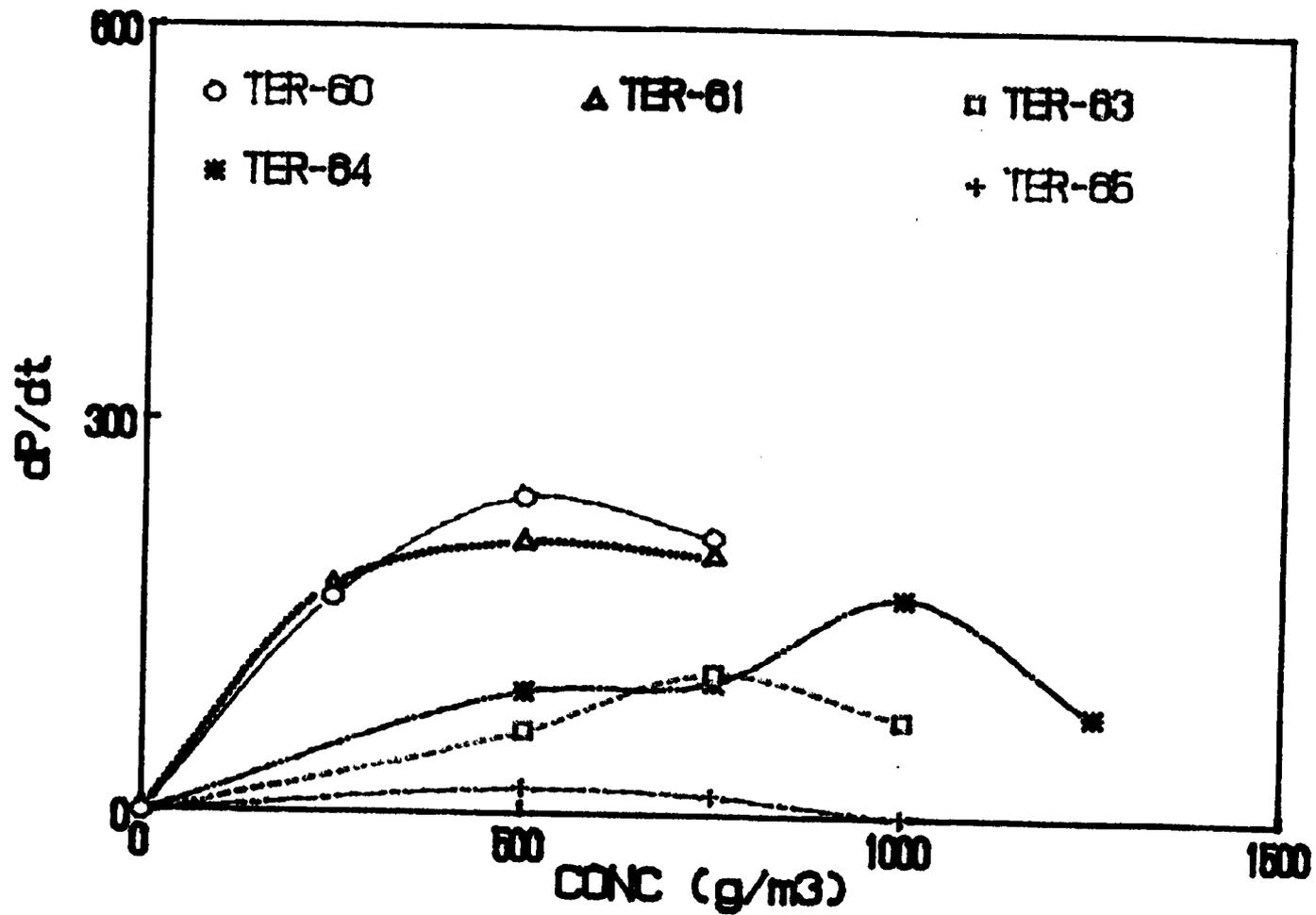
**MINA MARIA**





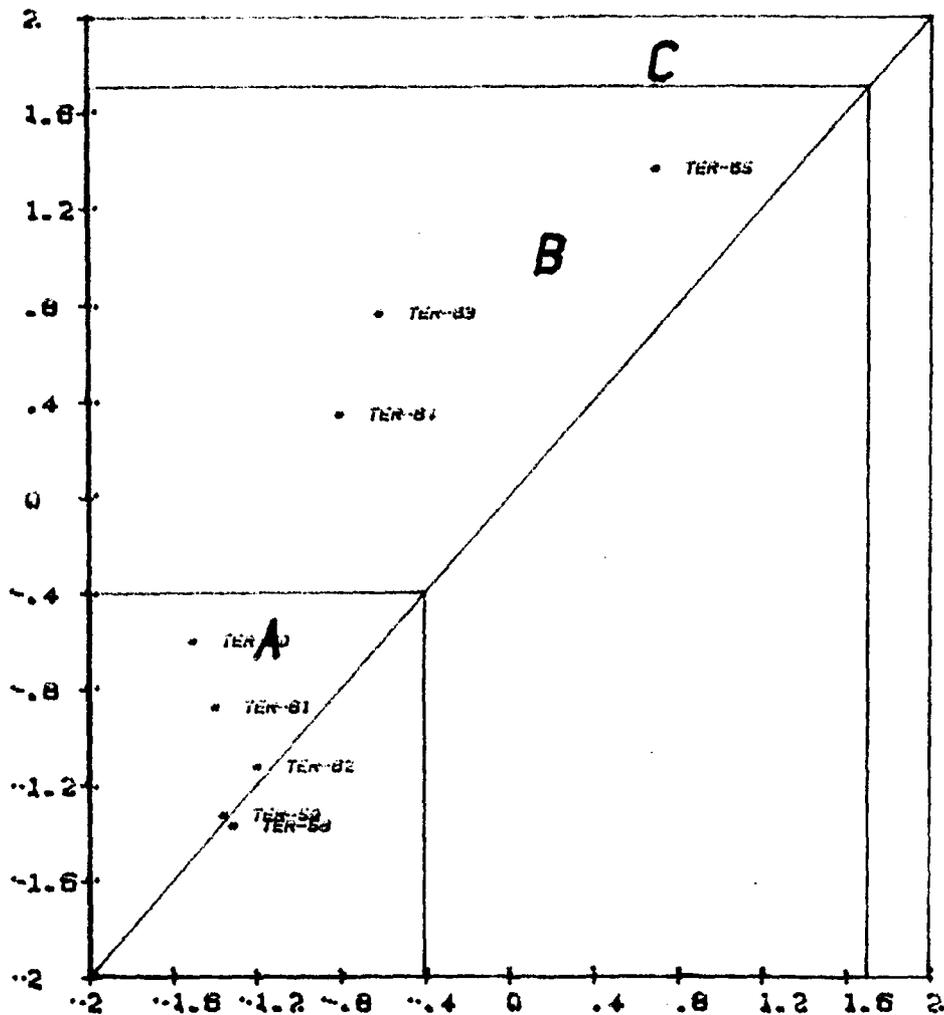






# MARIA

VC11



LOM

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

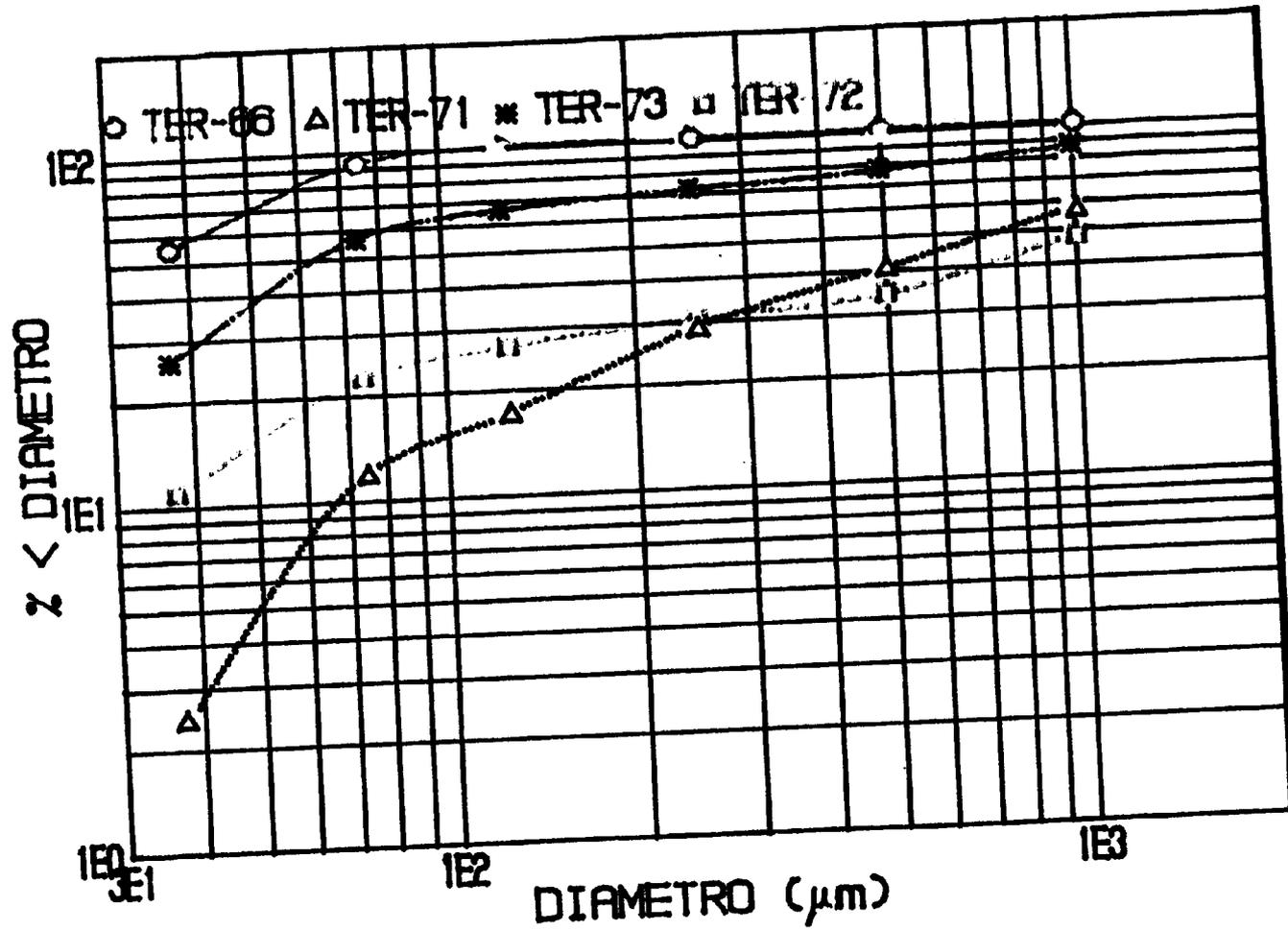
Fecha:

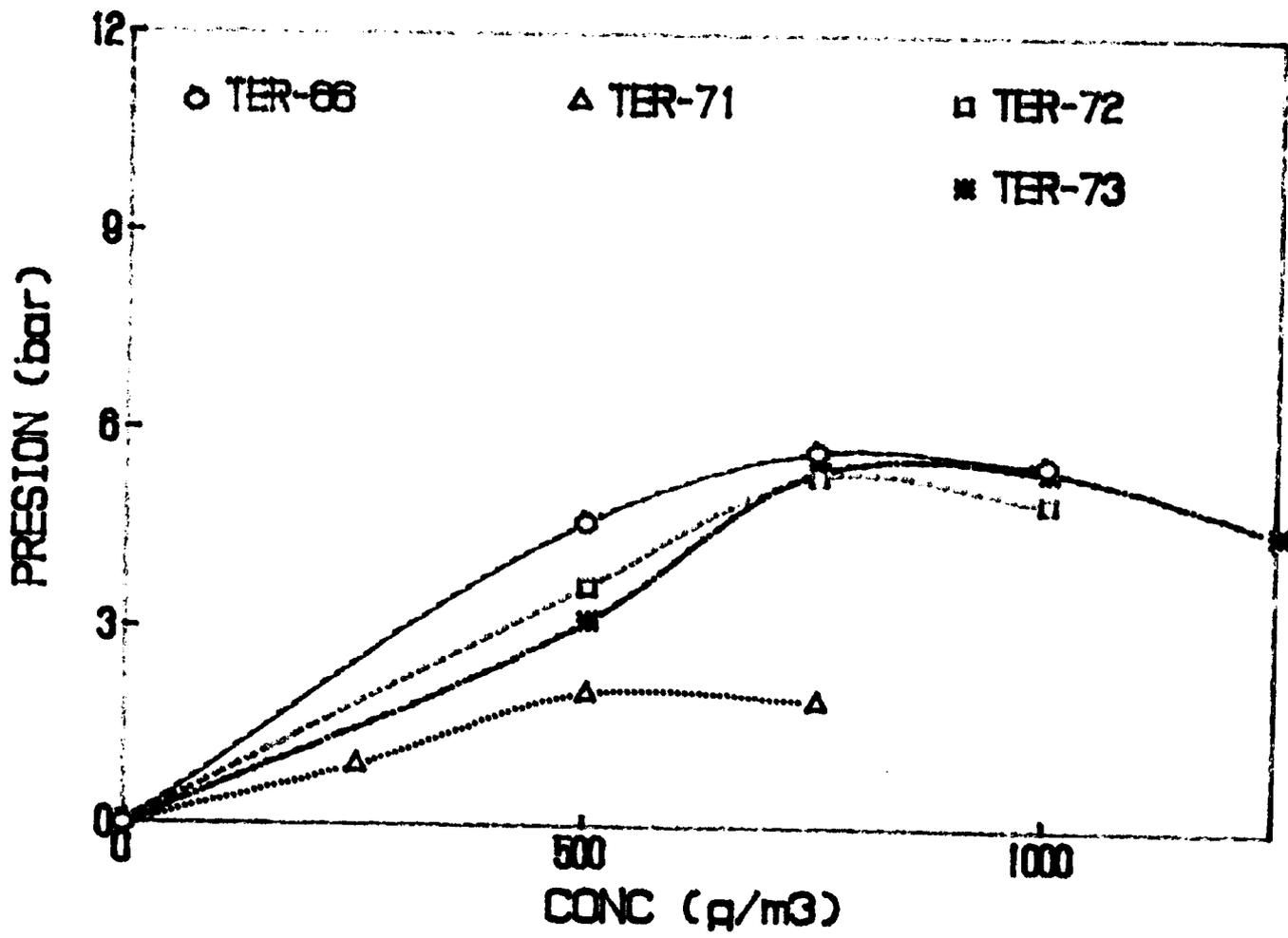
JUNIO/91

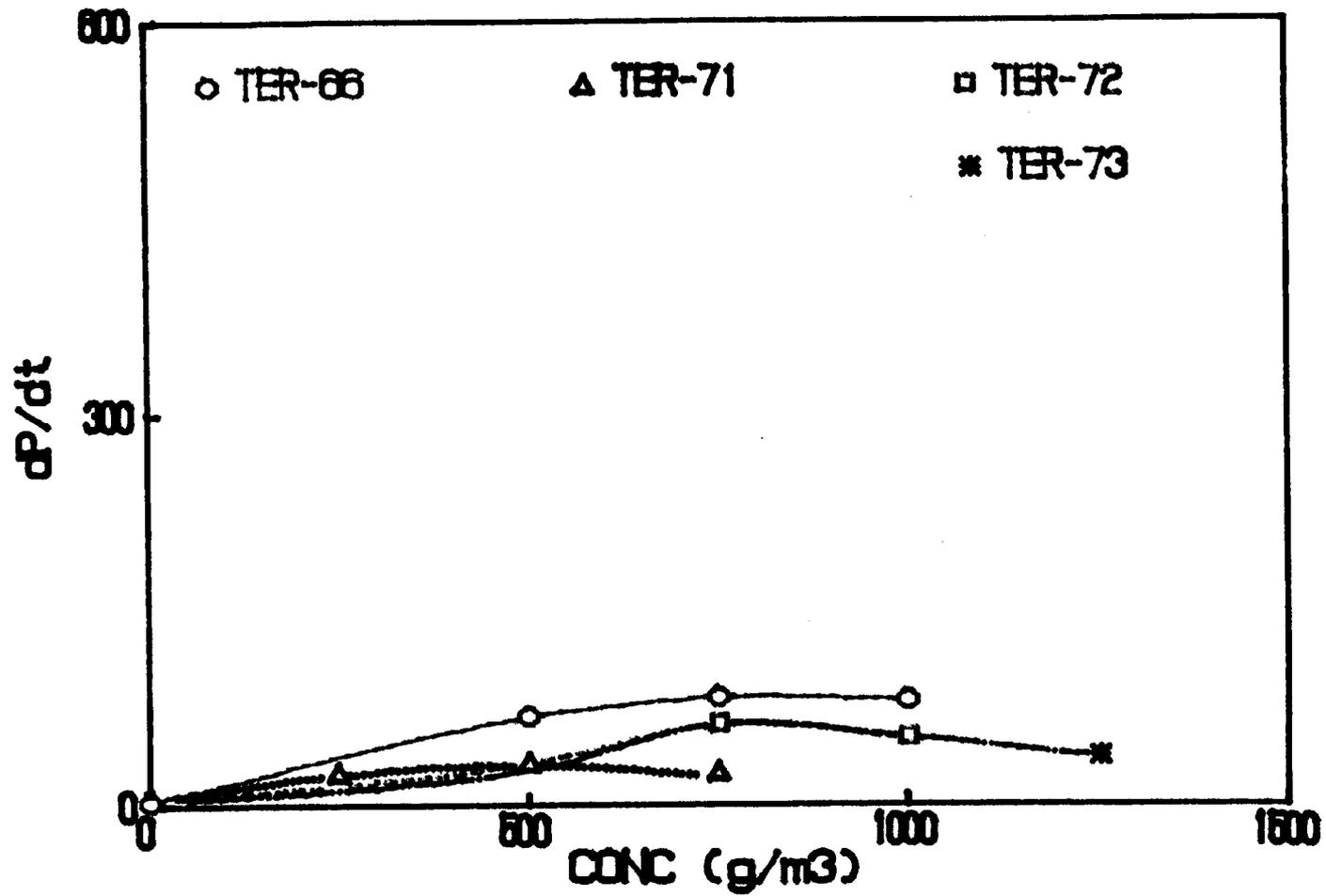
VC12

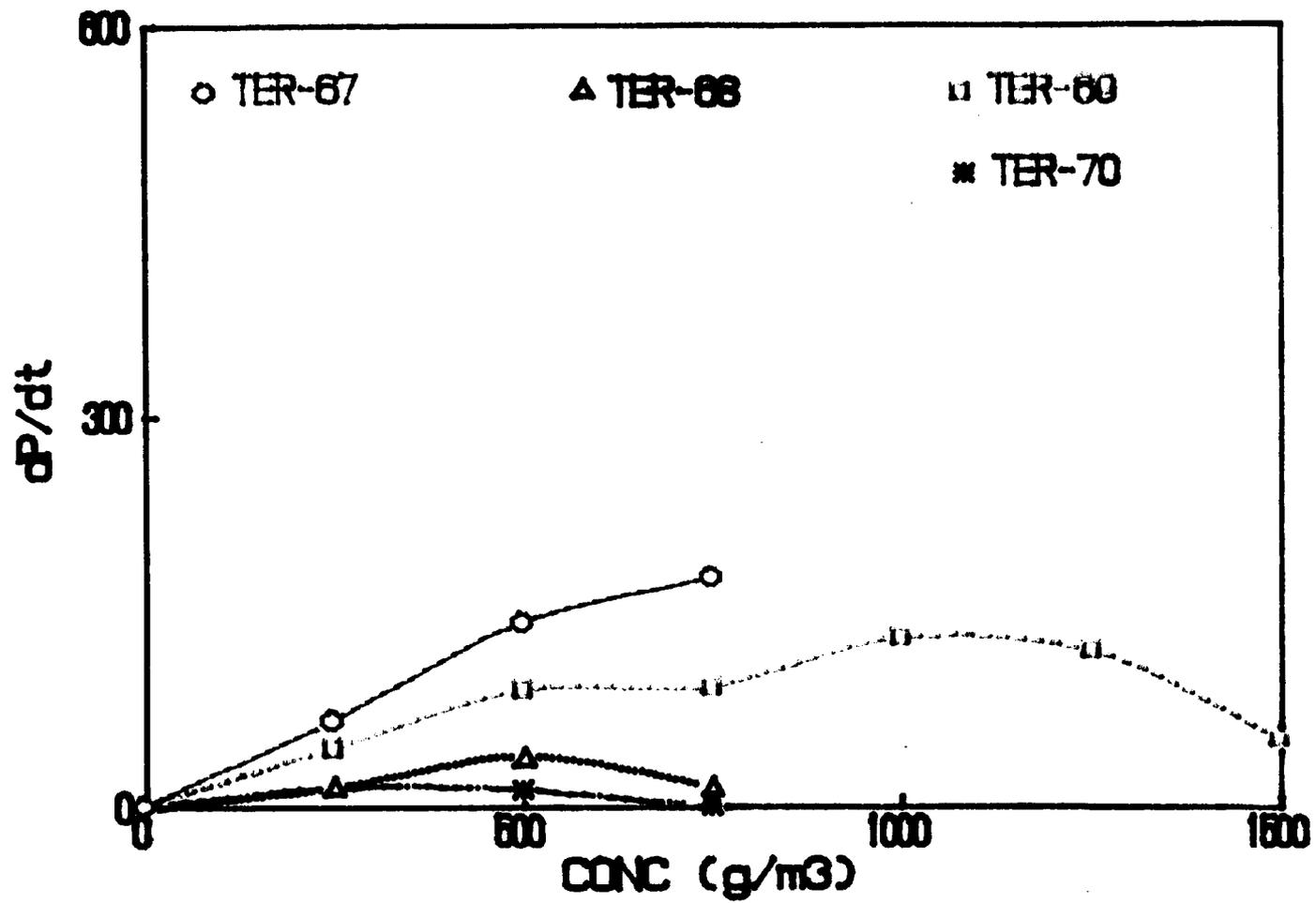
JGT

**MINA CONCEPCION**



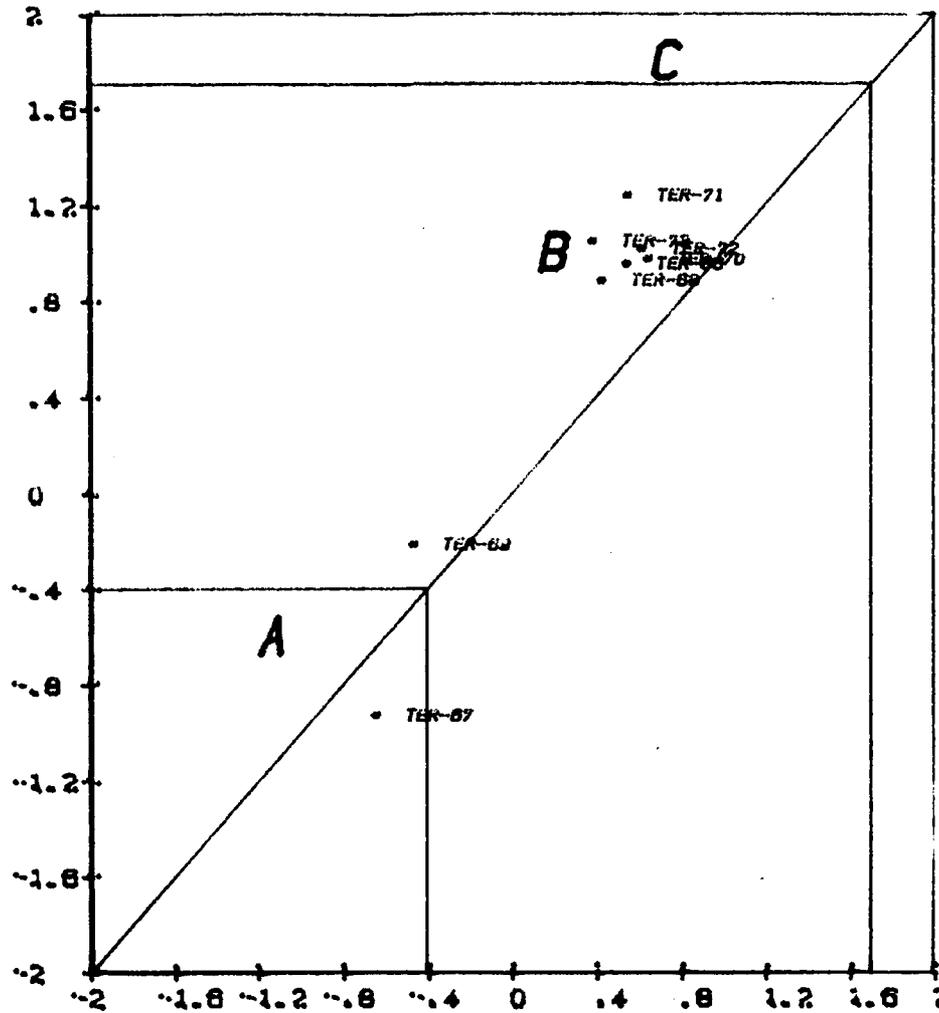






# CONCEPCION

VC11



LOM

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

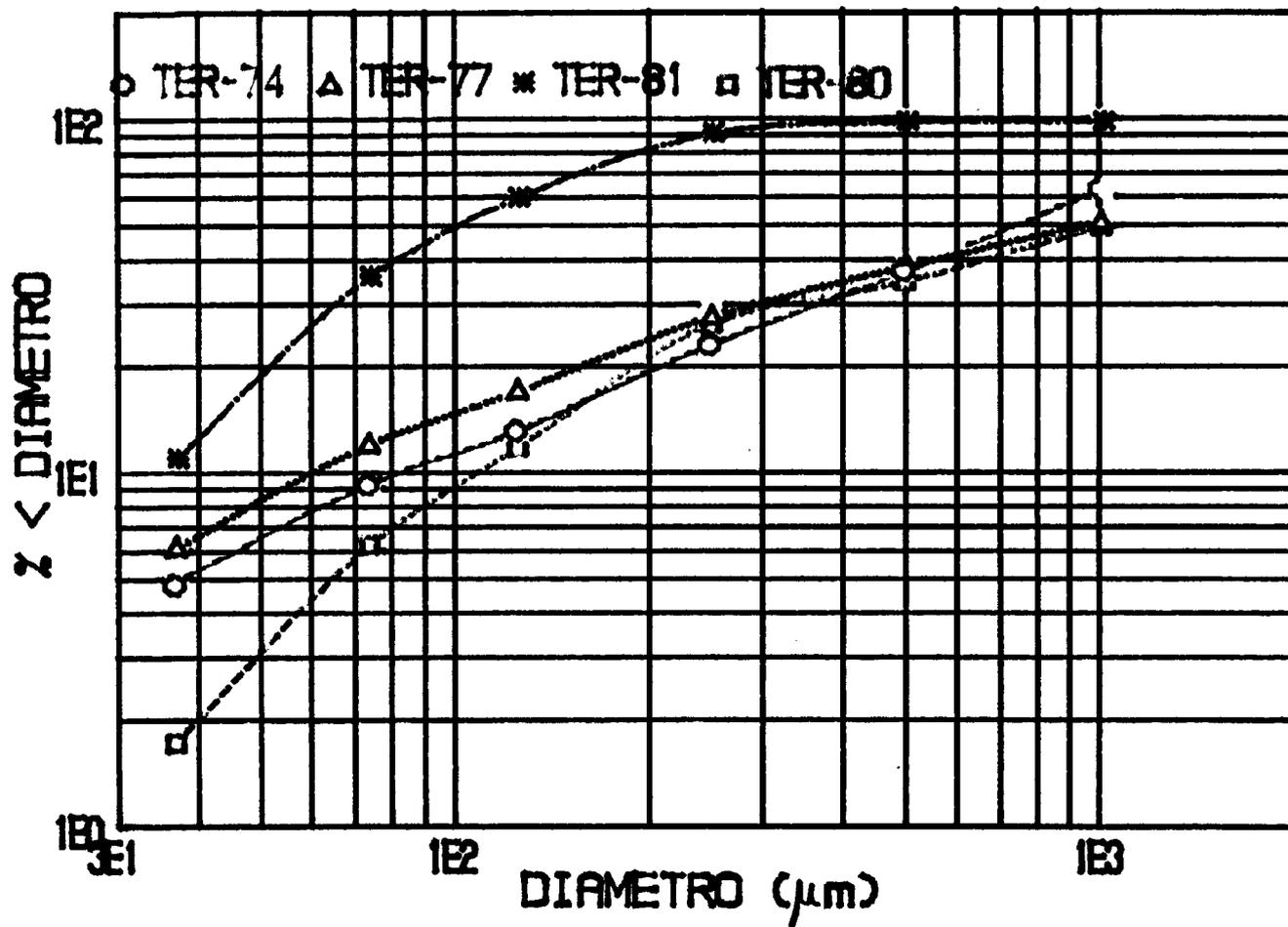
Fecha:

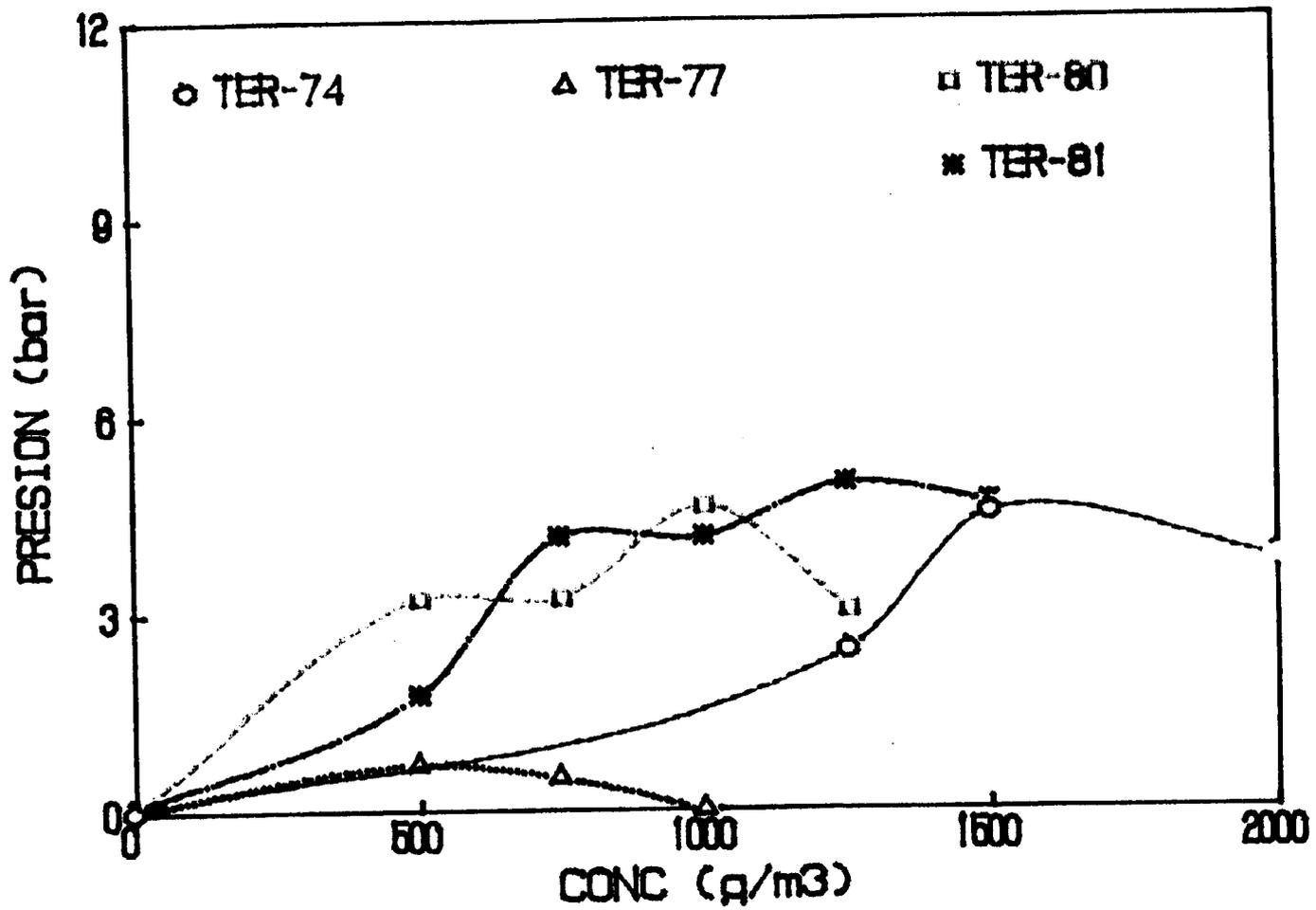
JUNIO/81

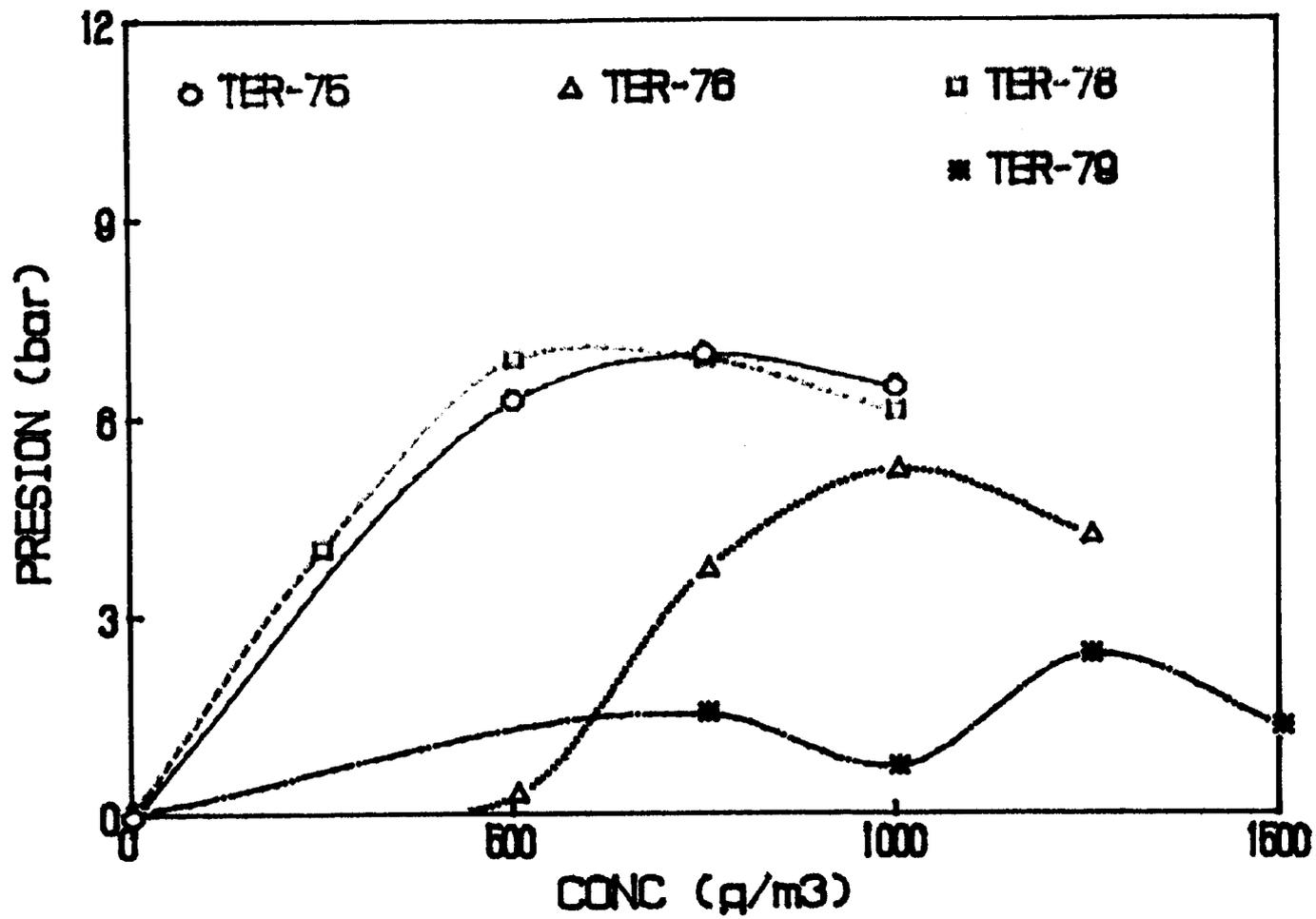
VC12

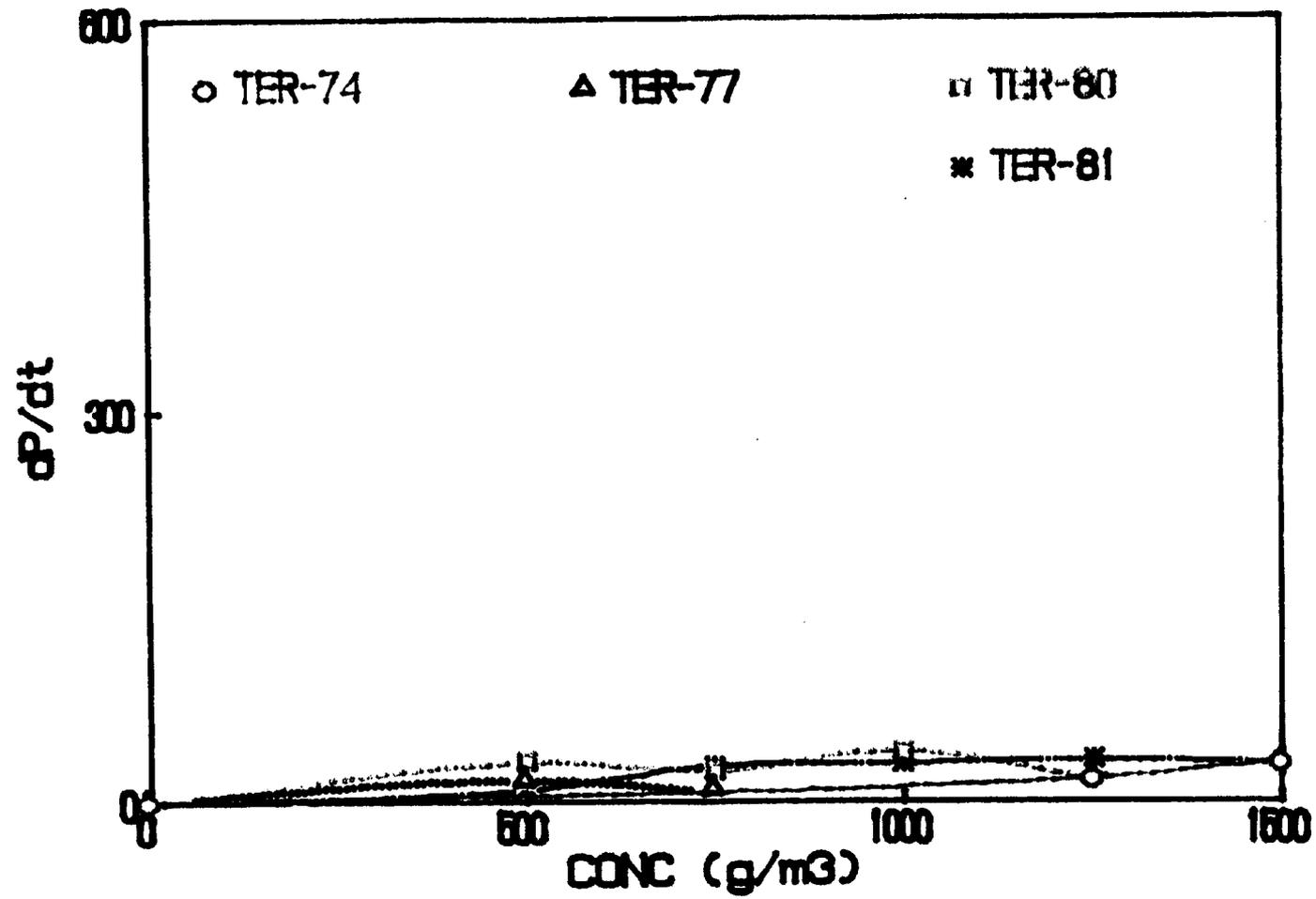
JGT

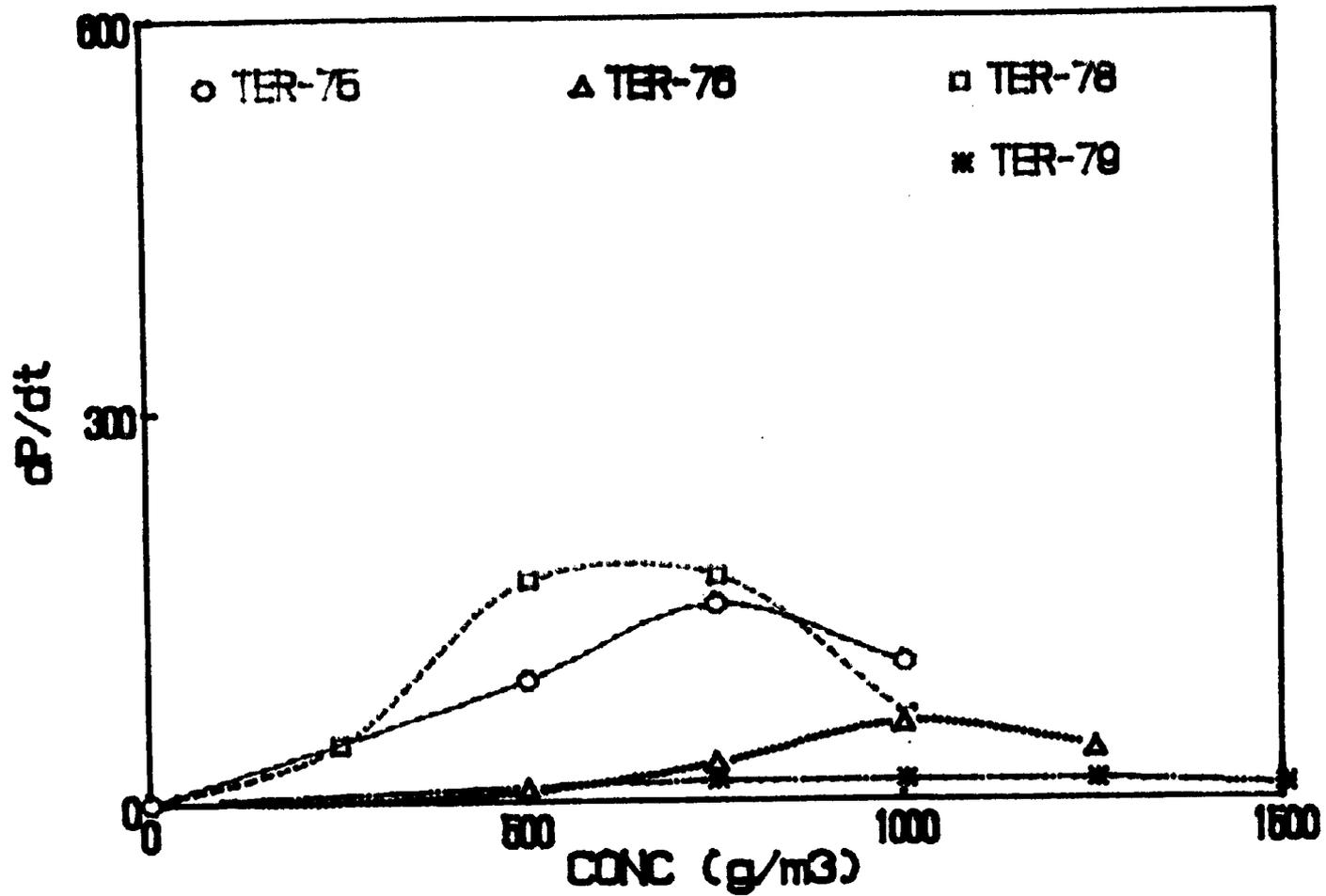
**MINA LUISA**





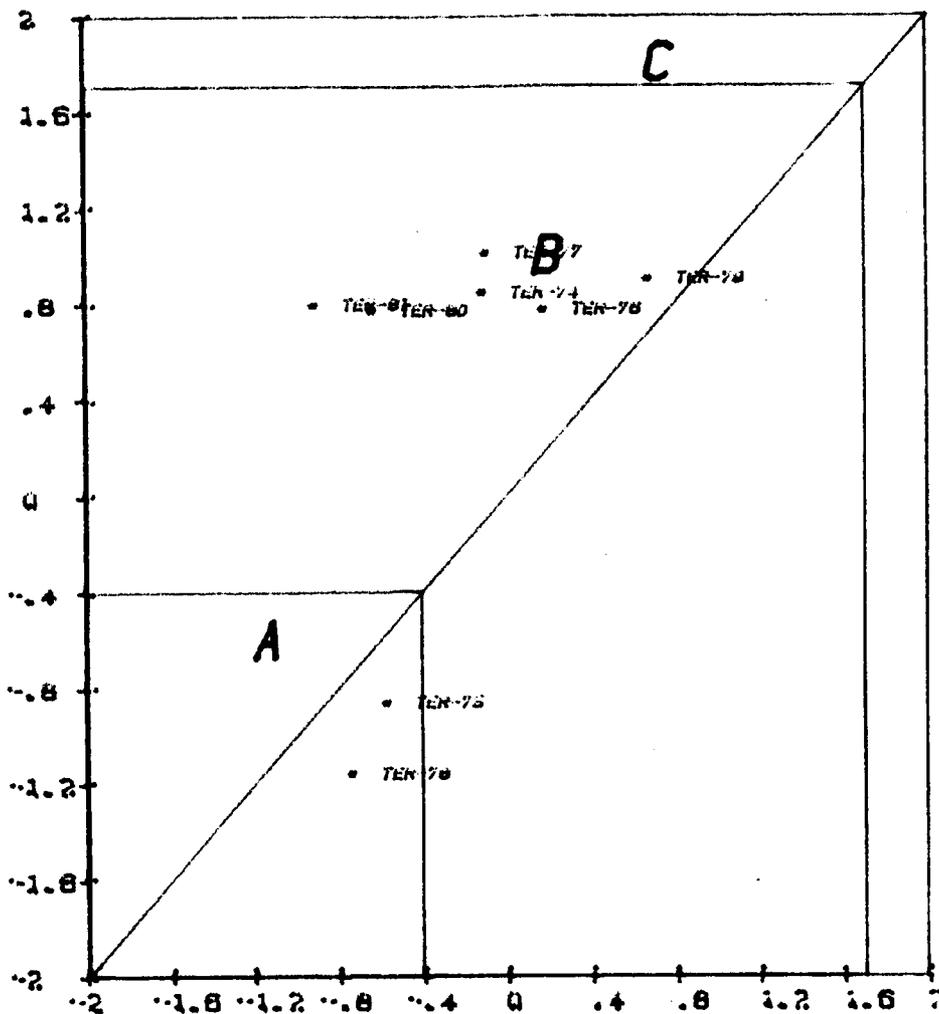






# LUISA

VC11



**LOM**

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

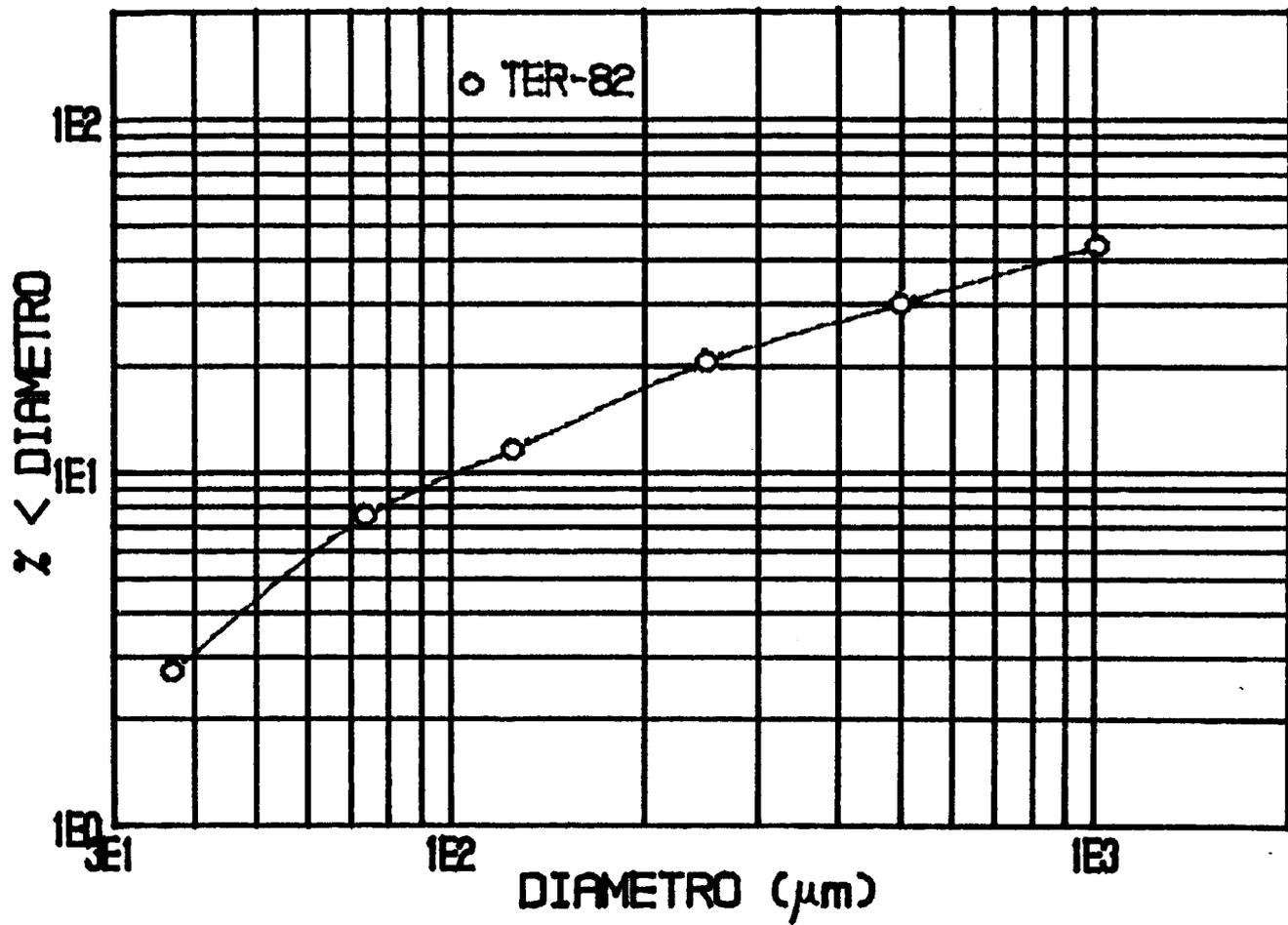
Fecha:

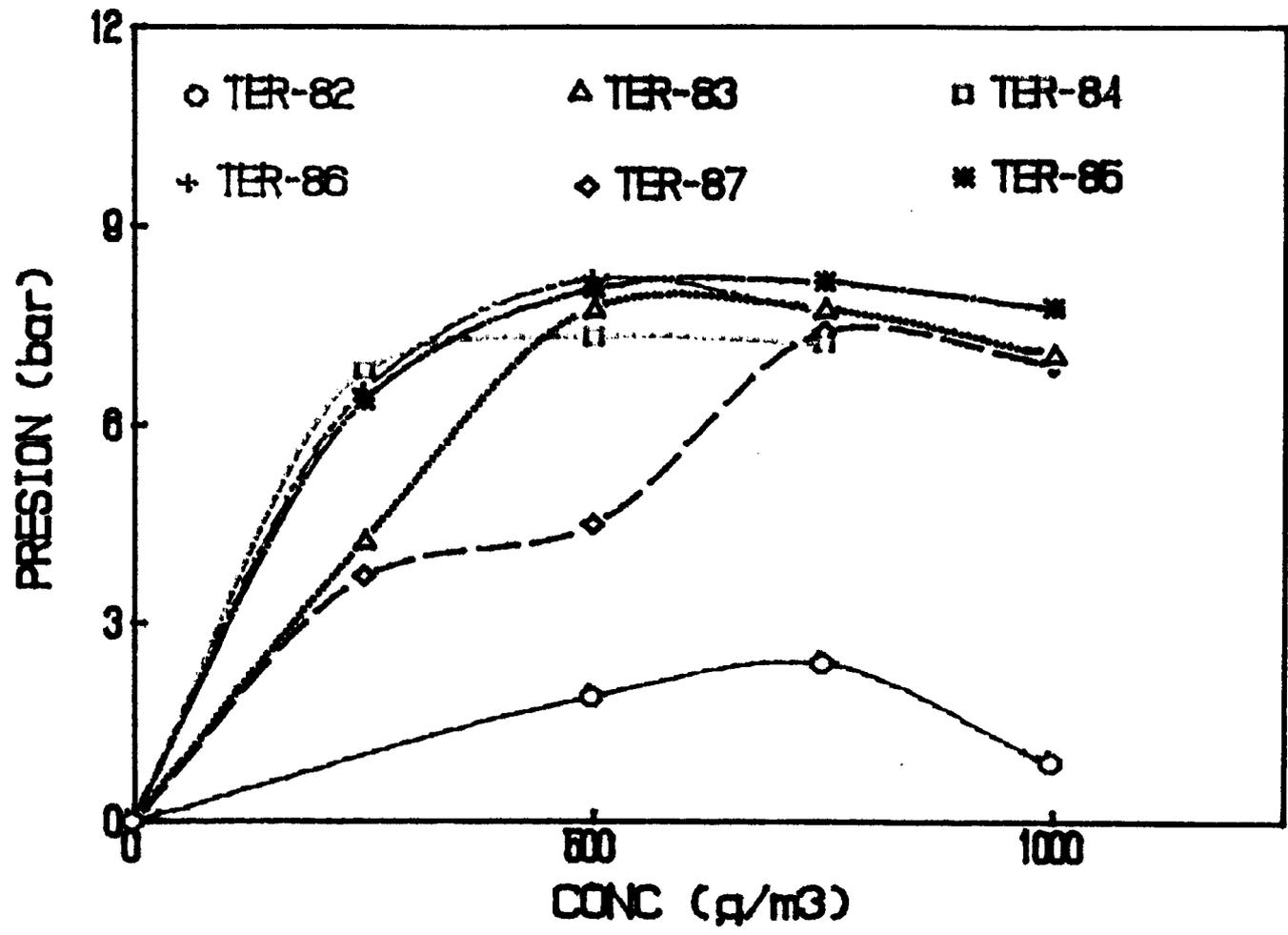
JUNIO/91

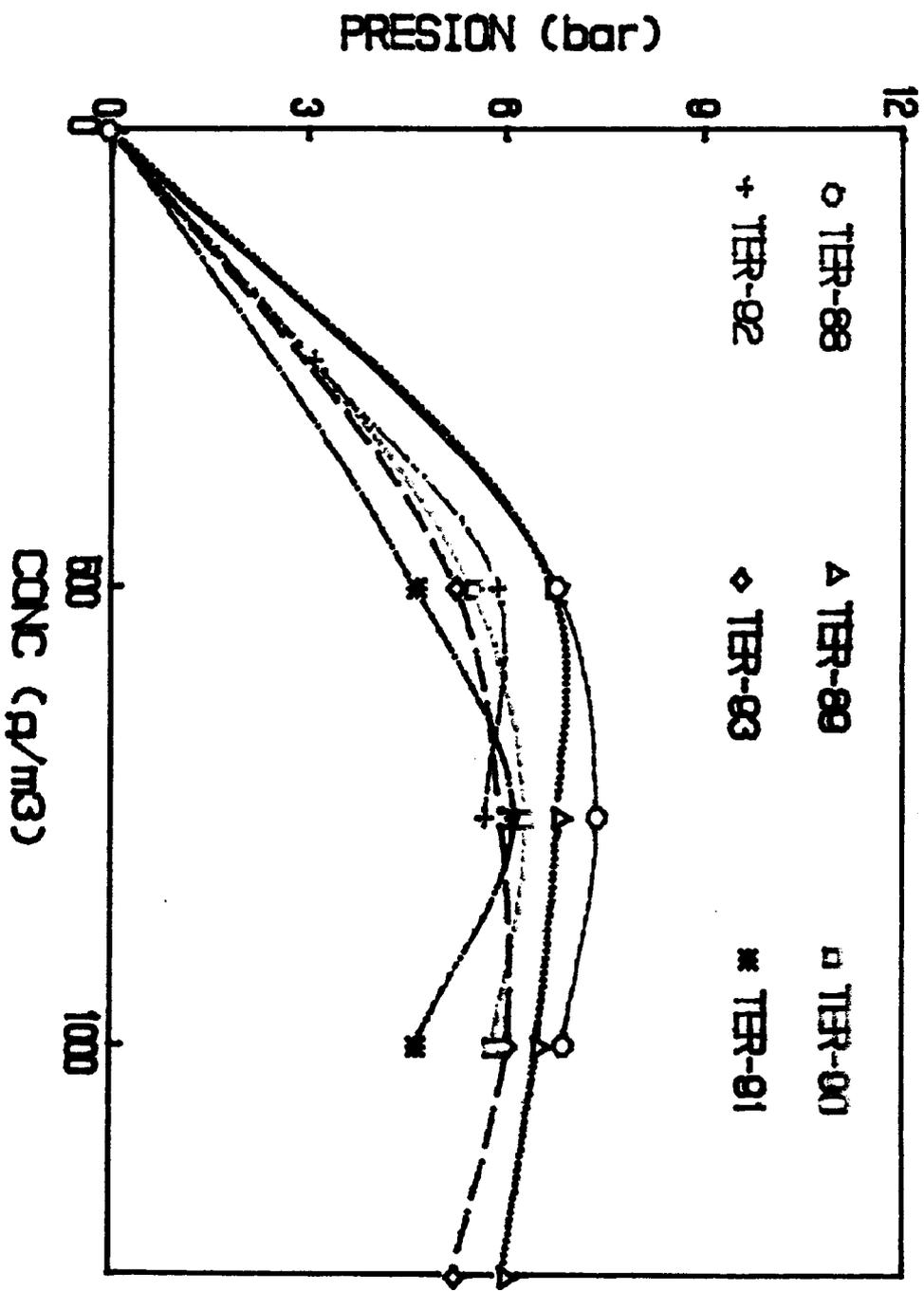
VC12

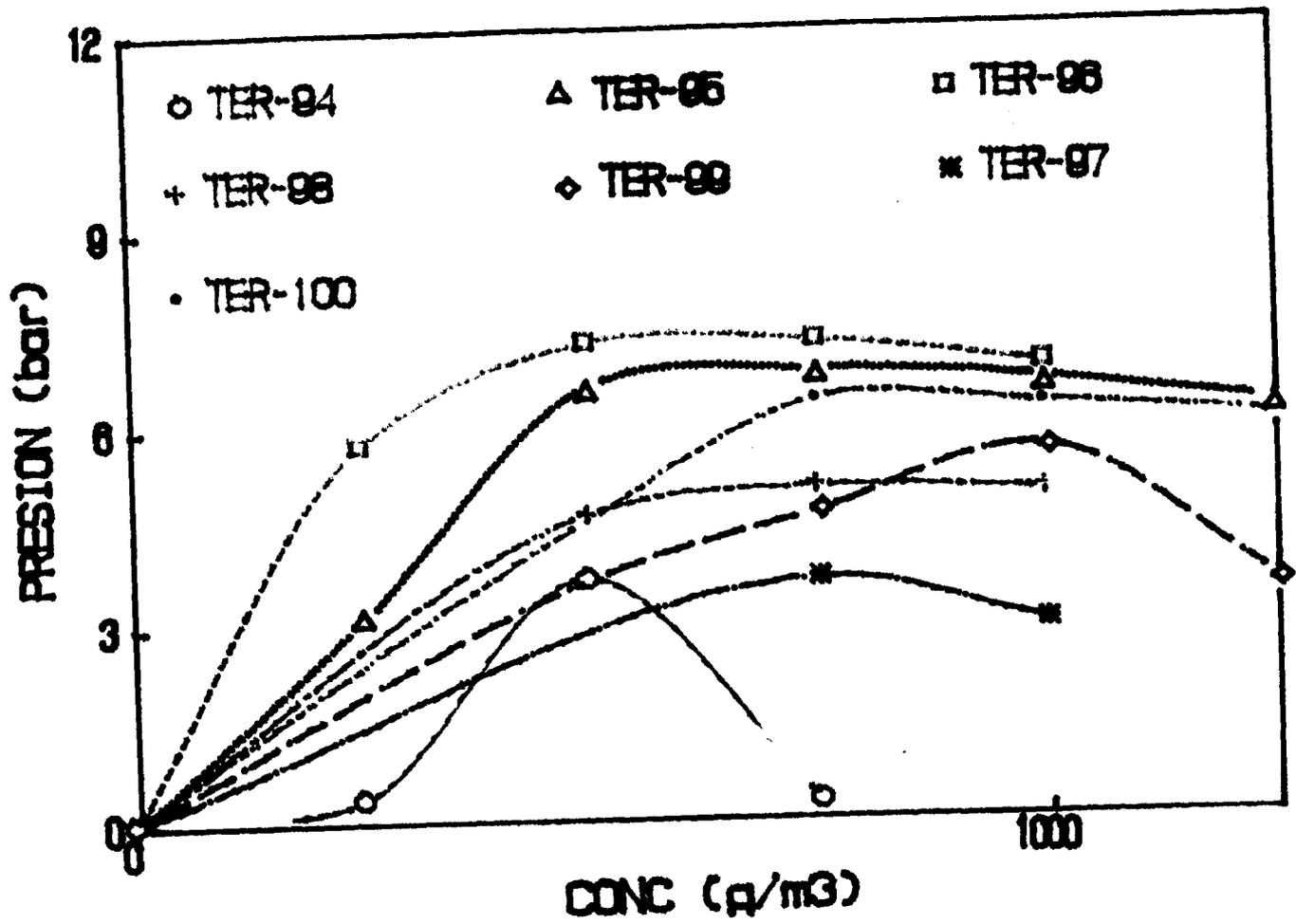
JGT

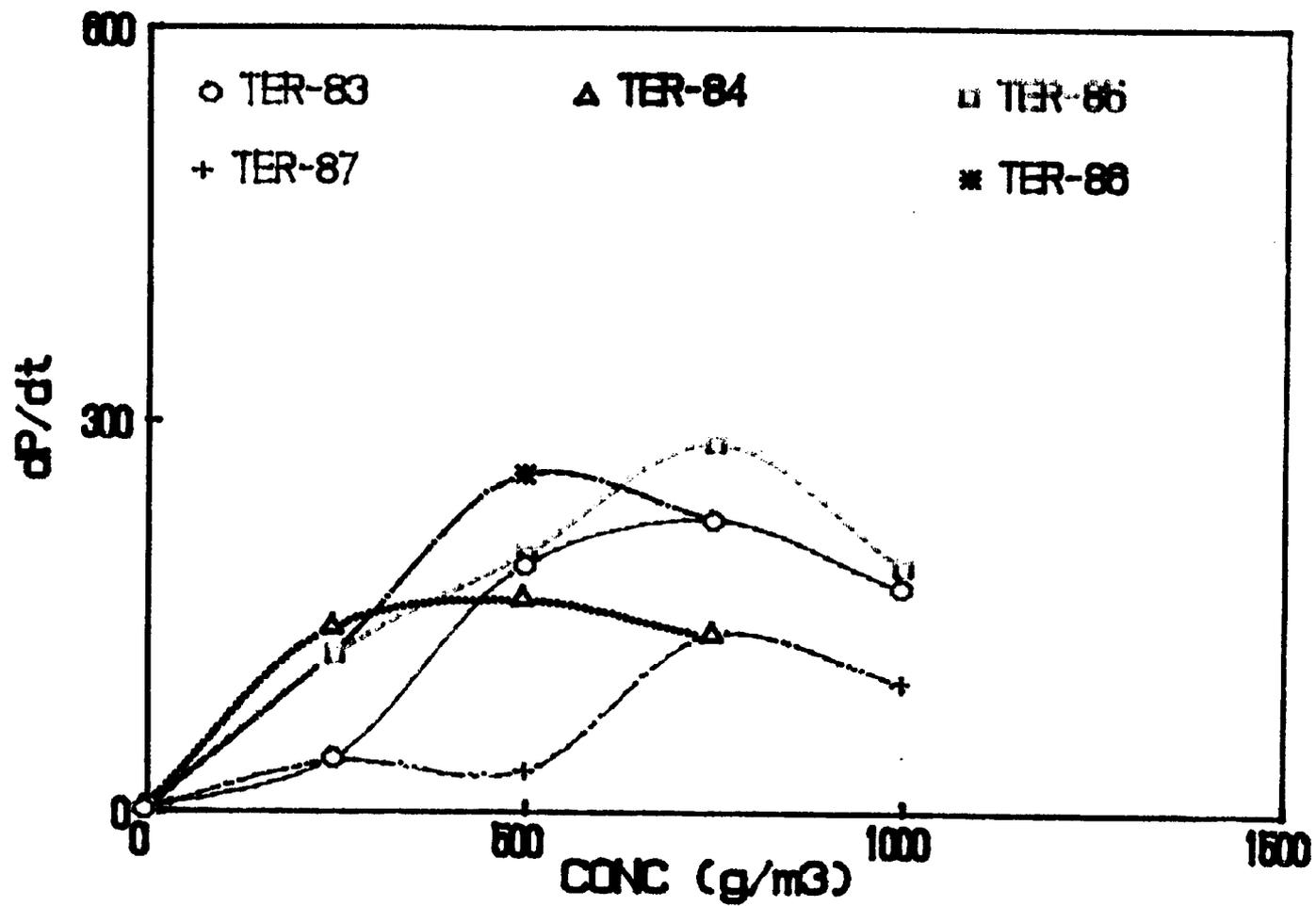
**MINA CARMEN Y PURA**

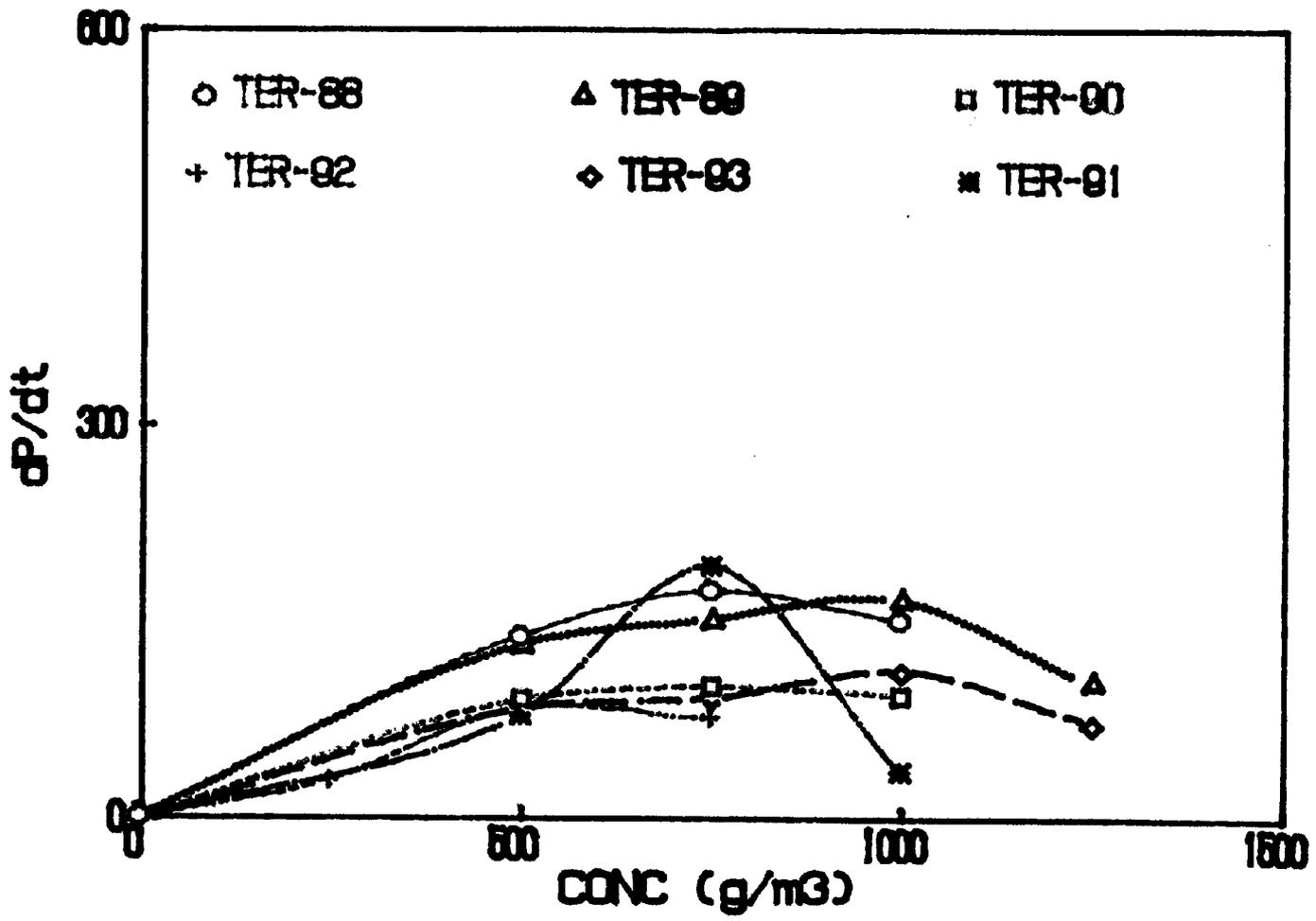


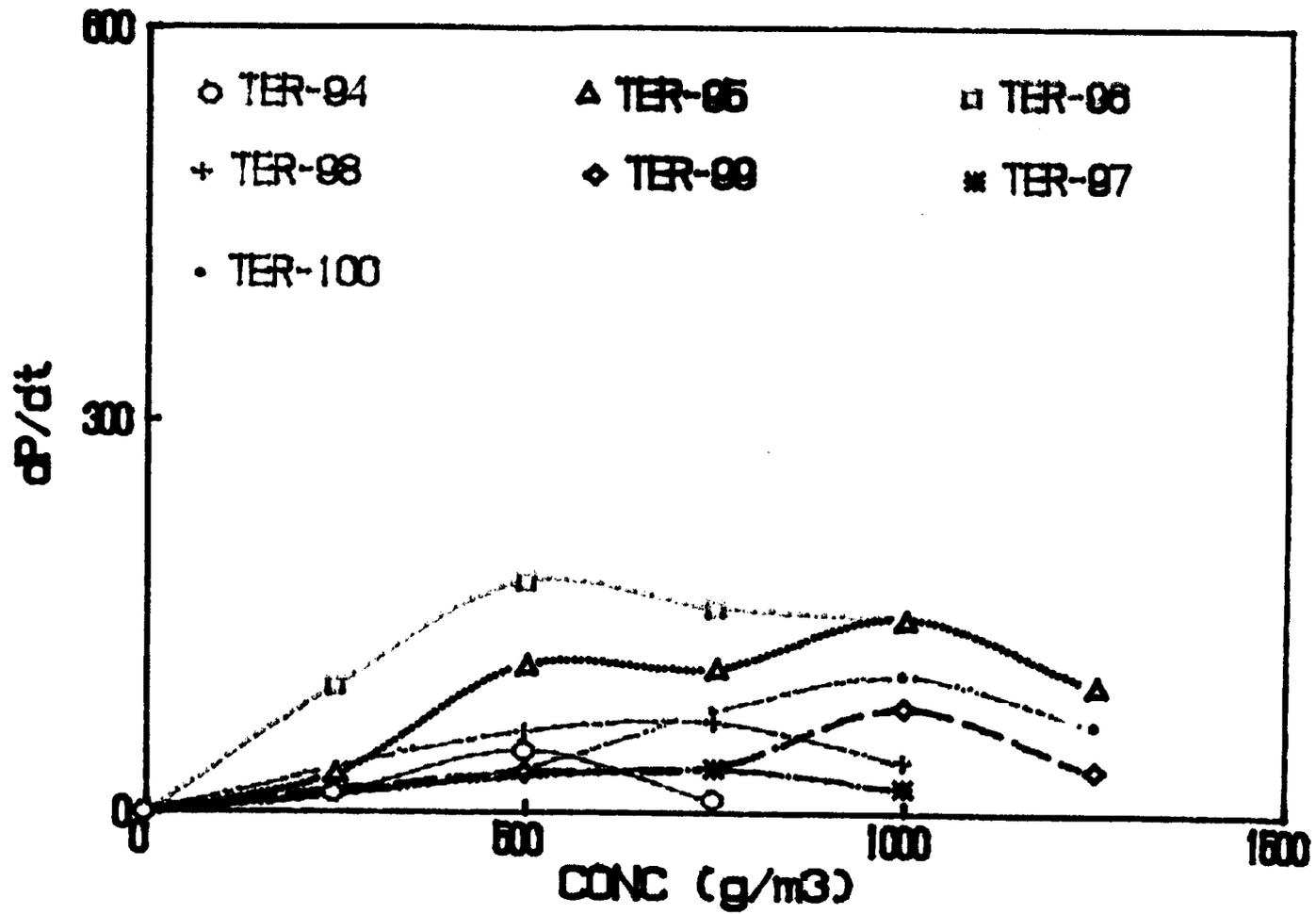






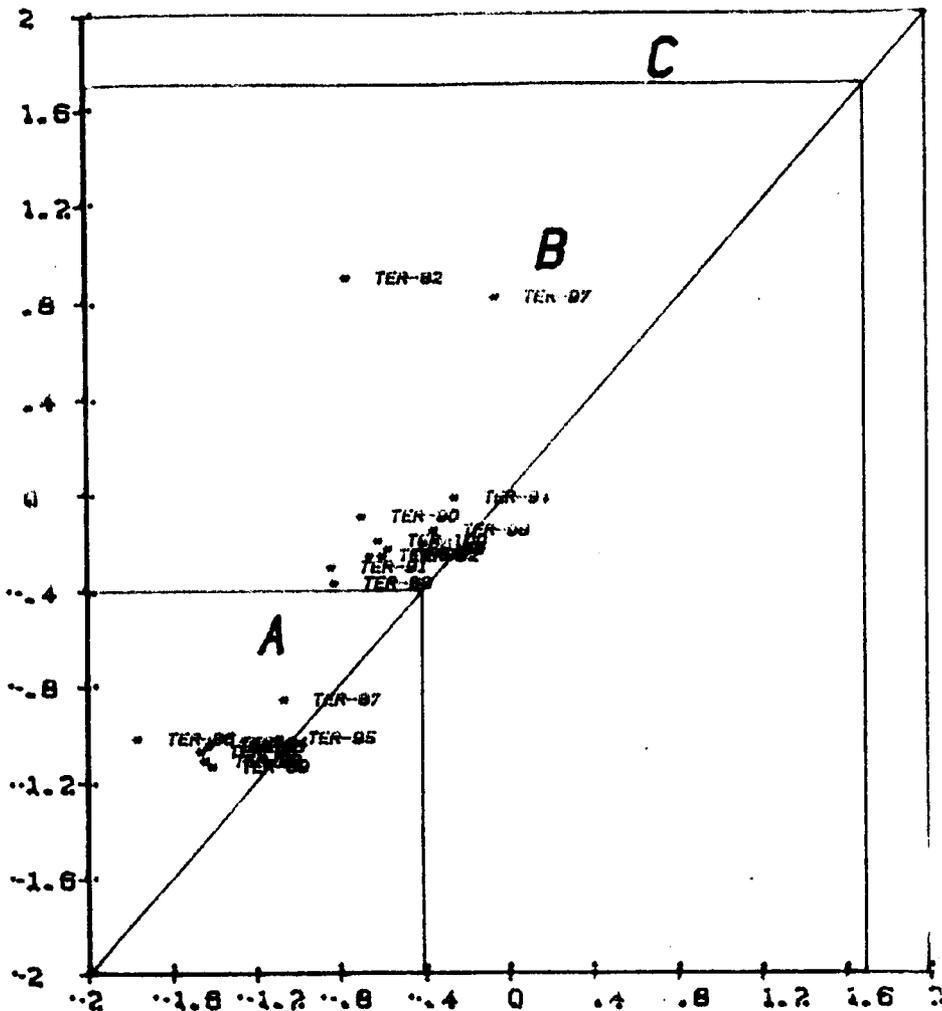






# CARMEN Y PURA

VC11



**LOM**

Peticionario:

ITGE

Proyecto:

TERUEL

Fecha:

JUNIO/91

VC12

JGT