UNIVERSIDAD DE CHILE
Biblioteca Central
ESCUELA DE INGENIERIA

Influencia de la forma de las probetas y de la velocidad de aplicación de las fuerzas sobre los resultados obtenidos en el ensayo de un acero a la tracción

Trabajo presentado a las Cuartas Jornadas de Ingeniería Estructural por el Ing. argentino Dr. Vladimiro Vilhalm.

Según las investigaciones de Bach, Bauschinger, Davis, Koerber, Leiter, Manjoine, Nadai, Siebel, Winlock, etc., la forma de la probeta y la velocidad de aplicación de la fuerza ejercen una influencia considerable sobre los resultados que se obtienen en un ensayo de tracción, especialmente sobre el límite de fluencia superior. Según estas investigaciones las primeras deformaciones plásticas del orden del 0,2% se forman en las partes de la probeta donde la uniformidad de la distribución de las fuerzas de tracción está perturbada, es decir, en los lugares del paso brusco del cuerpo cilíndrico a la cabeza de fijación. En las probetas de tracción con un paso más suave, causado por un radio grande o mediante un cono, la distribución de las fuerzas es más uniforme, y como consecuencia los valores del límite de fluencia superior son más elevados, apareciendo además mayores diferencias entre los límites superior e inferior. La mayoría de las publicaciones mencionan que la influencia de la velocidad de aplicación de la carga, como también la capacidad de la máquina de ensayo sobre las propiedades mecánicas hasta hoy no han sido totalmente aclaradas.

En el presente trabajo tratamos de aclarar, dentro de las posibilidades de nuestro laboratorio en el «Instituto Tecnológico del Sur», el alcance de estas influencias.

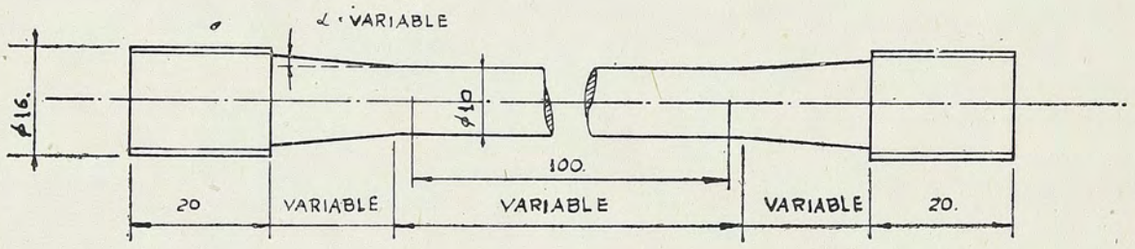
Para los ensayos hemos elegido unas barras de acero de 18 mm. de la siguiente composición química:

C	Mn	Si	P	S
0,10 — 0,13	0,45 — 0,52	0,17 — 0,21	0,06	0,032%

El material fué cortado a una longitud de 210 mm. y recocido en conjunto a una temperatura de 900° C durante una hora, con un enfriamiento posterior en el horno. De este material se prepararon las probetas de tracción, con cabezas a rosca. Los ensayos a la tracción se realizaron en la máquina hidráulica de Amsler de 10 ton. de capacidad, empleándose también la escala de 10 ton.

Las probetas de ensayo fueron construídas de tal manera que cuatro tamaños se mantuvieron constantes y tres variables, como se indica en la figura 1.

FIG. 1.

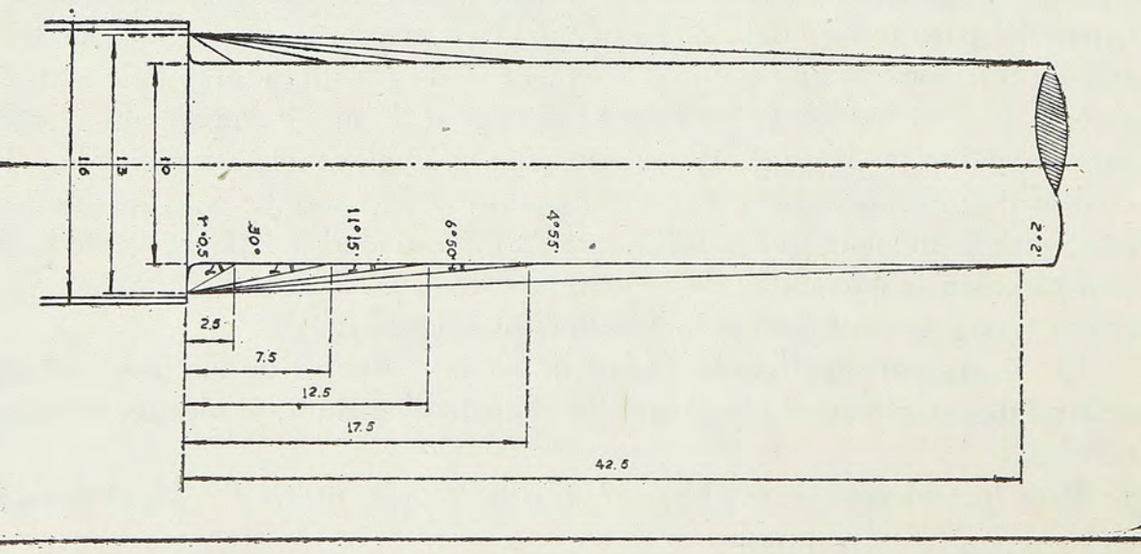


La figura indica cuáles eran las dimensiones citadas.

1) Diámetro de la probeta : 10mm.
2) Diámetros del cono : 10 y 13 mm. resp.
3) Diámetro y longítud de la cabeza 16 *y* 20 mm.
4) Distancia entre las marcas l=5 D y 10 D
1) Longitud del cuerpo cilíndrico.
2) Longitud del cono.
3) Angulo de la unión de la cabeza al cuerpo cilíndrico.

Las diferencias en las dimensiones de las probetas de ensayo se pueden ver en la figura 2.

FIG. 2.



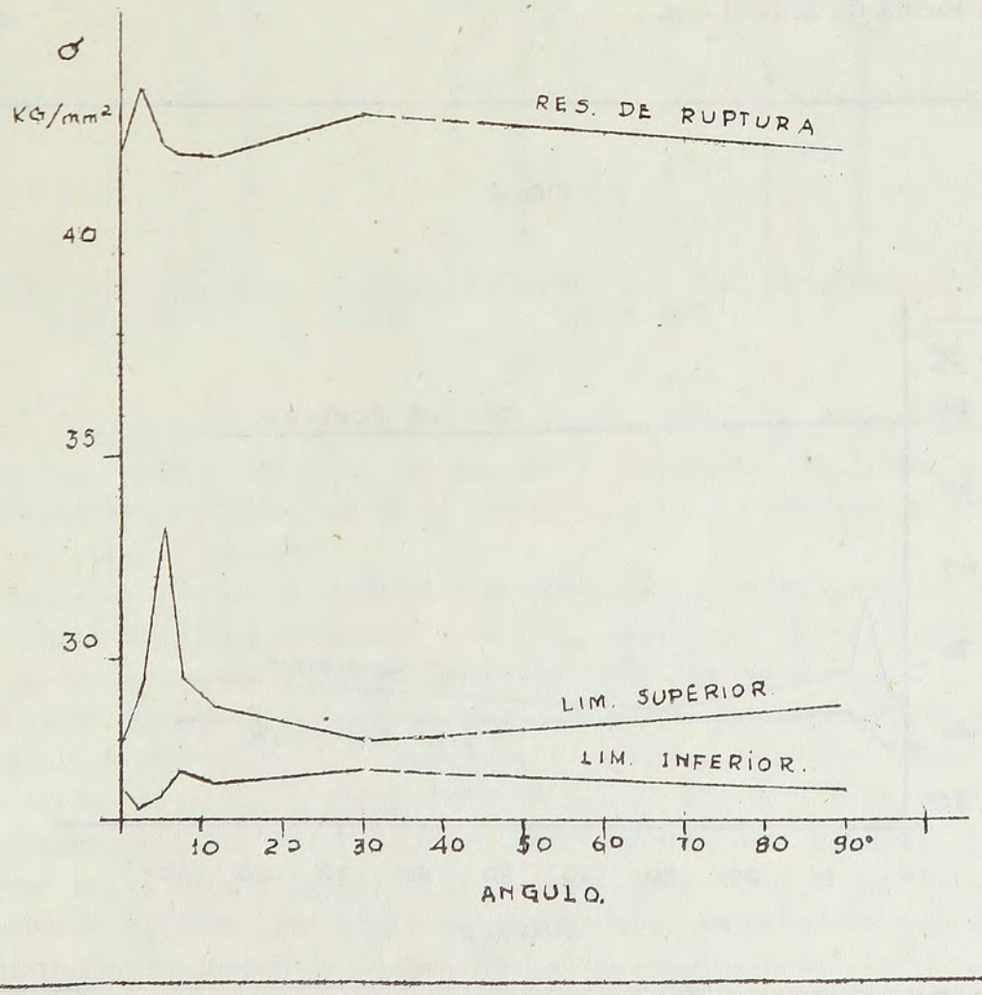
Como primer ensayo hemos realizado la determinación de las propiedades mecánicas aplicando la fuerza en forma estática, con una duración de 30 hasta 60 minutos y calculando hasta el momento de la ruptura de la probeta. Los resultados del ensayo se indican en la tabla N.° 1.

TABLA N.° 1

Angulo (grados)	Duración del ensayo (min.)	LIMITE DE FLUENCIA σ_F		Resistencia de ruptura
		Inferior (kg./mm.²)	Superior (kg./mm.²)	(kg./mm.²)
Sin cabeza	65	26.6	27.6	42.4
2° 2′	50	26.3	29.4	43.9
4° 55′	44	26.7	33.1	42.4
6° 50′	30	27.2	29.4	42.3
11° 15′	42	26.9	28.8	42.2
30°	40	27.2	27.9	43.3
Radio 0.5 mm.	55	26.6	28.8	42.2

Para una más rápida interpretación hemos llevado los resultados de esta tabla al diagrama de la figura 3.

FIG. 3

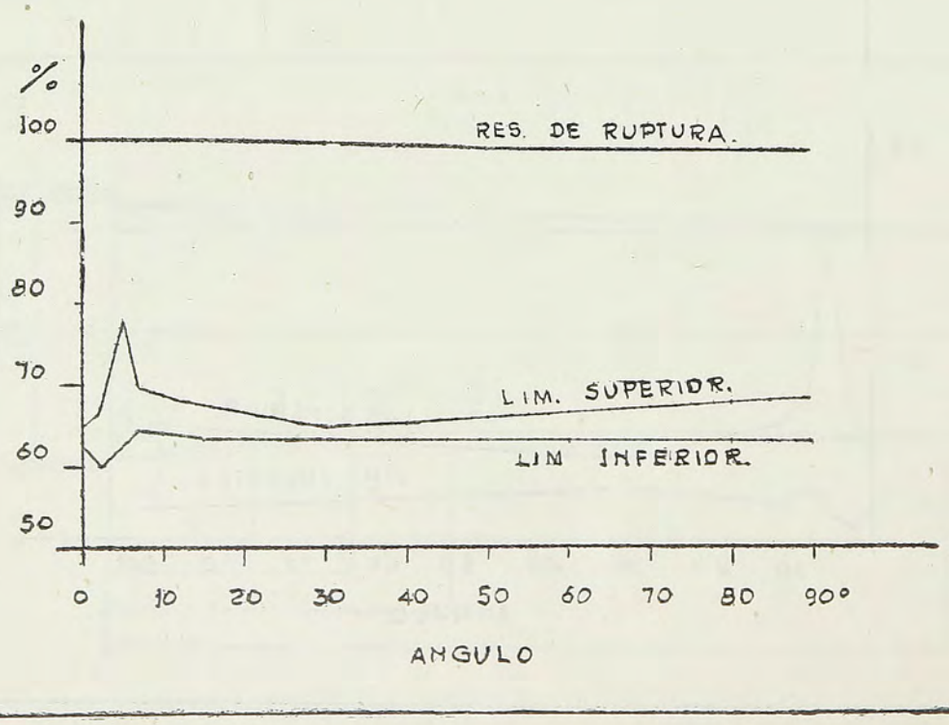


De los valores indicados surge la conclusión interesante de que el paso cónico con ángulo de 4° 55′ provocó la mayor diferencia entre los límites de fluencia superior e inferior y que con él se obtuvieron los máximos valores del límite superior.

Agrandando el ángulo del paso, es decir disminuyendo la uniformidad de la distribución de las fuerzas aplicadas, se ve una tendencia a bajar los valores del límite superior, cuyos mínimos se alcanzan con el cono de 2,5 mm. de longitud que corresponde al ángulo de 30°. En el caso de una probeta cilíndrica de igual sección transversal en toda su longitud, es decir, ángulo igual a cero, se observan valores mínimos para ambos límites de fluencia. Además, se ve que la progresiva disminución del ángulo del paso no tiene como consecuencia un aumento automático del límite de fluencia superior (por ejemplo, obsérvese el caso del ángulo de 2° 2′). De todo esto se puede suponer que existe un límite del ángulo de la parte cónica, donde los valores del límite de fluencia superior serán máximos: en nuestro caso es el ángulo de 4° 55′. Como se ve de los resultados, la forma de la probeta, o mejor dicho el ángulo de paso del cilindro a la cabeza de fijación, influye solamente sobre el límite de fluencia superior, dejando prácticamente sin cambios el mismo límite inferior y la resistencia de ruptura.

Teniendo en cuenta que los valores registrados de resistencia de ruptura de las probetas ensayadas acusan ciertas diferencias provocadas por heterogeneidad estructural o química, como también por influencia de los tratamientos térmicos o mecánicos, se ha construído el diagrama de la figura 4, donde los valores de ambos límites de fluencia se indican en por cientos de la resistencia de ruptura. Consideramos que este diagrama permite una mejor consideración de la influencia de la forma de la probeta.

FIG. 4



De estos ensayos se puede deducir que para obtener las mínimas diferencias entre los límites de fluencia superior e inferior, lo que es deseable para la correcta determinación de las solicitaciones admisibles, calculadas prácticamente en dependencia del límite 0,2%, para los ensayos deben tomarse las probetas con un paso del cilindro a la cabeza igual a 30°, lo que tiene ventajas en comparación con las probetas sin cabezas o con otros ángulos, eliminando la influencia directa de las deformaciones plásticas en la cabeza de la probeta. Los gráficos registrados durante los ensayos estáticos se ven en la figura 5.

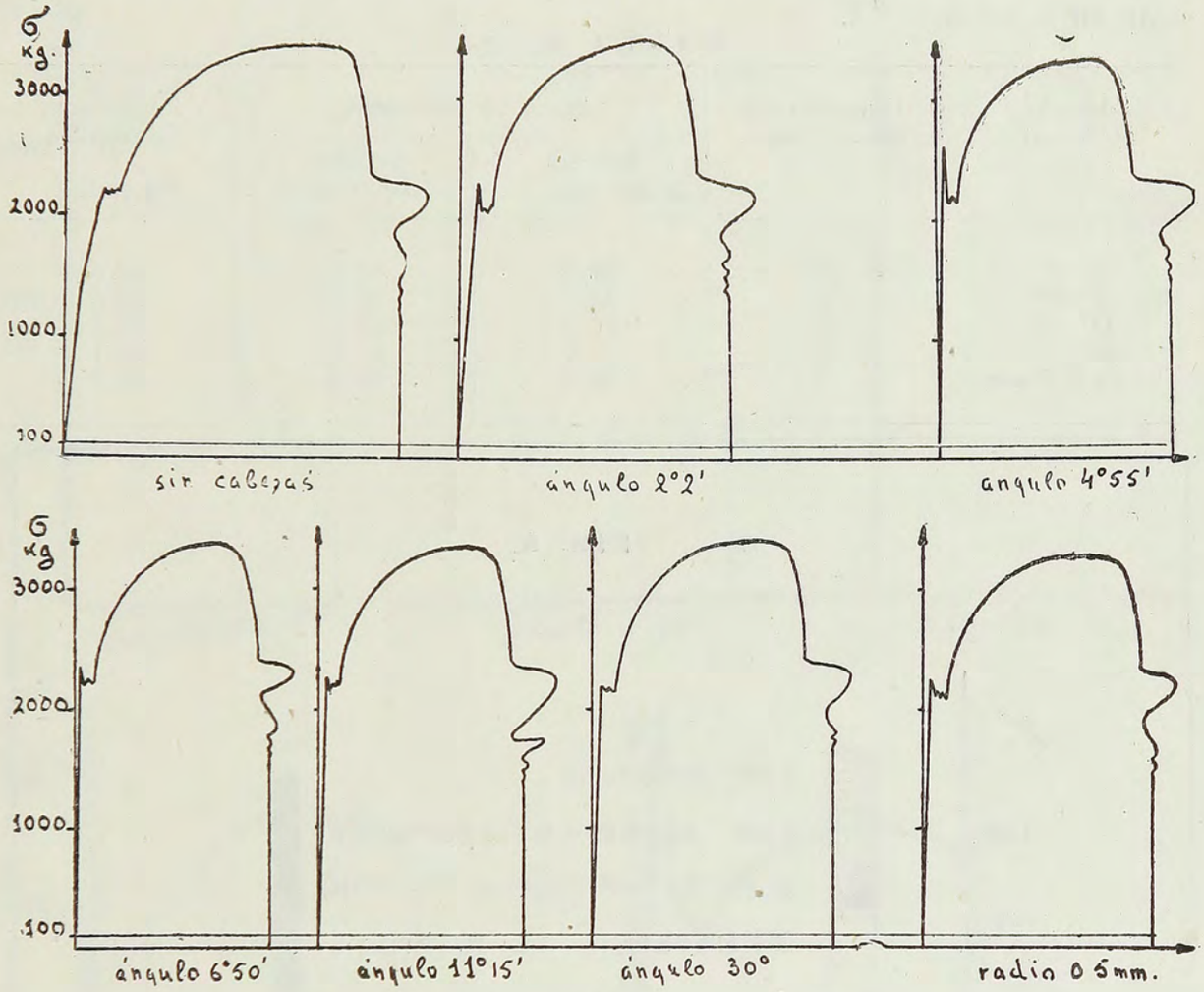


Fig. 5

En el gráfico de ensayo con la probeta sin cabeza se ve una inclinación de la línea recta, parecida al punto del límite de proporcionalidad, lo que es causado por deformaciones plásticas de la parte del material ubicado en las mordazas de la máquina de ensayo.

Hay que mencionar también que todos estos ensayos estáticos se han realizado solicitando las probetas con una carga previa de 1,25 kg./mm.^{2}, lo que permite un mejor asentamiento de las probetas en las mordazas.

Como segunda etapa de las investigaciones, hemos realizado los ensayos dinámicos de duración corta, aplicando la máxima carga con toda la velocidad dada por la construcción y capacidad de la máquina de ensayo, la cual depende de la resistencia del material contra las deformaciones. Es decir, que en estos ensayos se ha fijado solamente la duración total de la acción de la fuerza sin indicarla en kg./mm.^{2} por segundo o determinarla en velocidades de deformación constantes en la unidad de tiempo. Para estos ensayos hemos empleado la misma

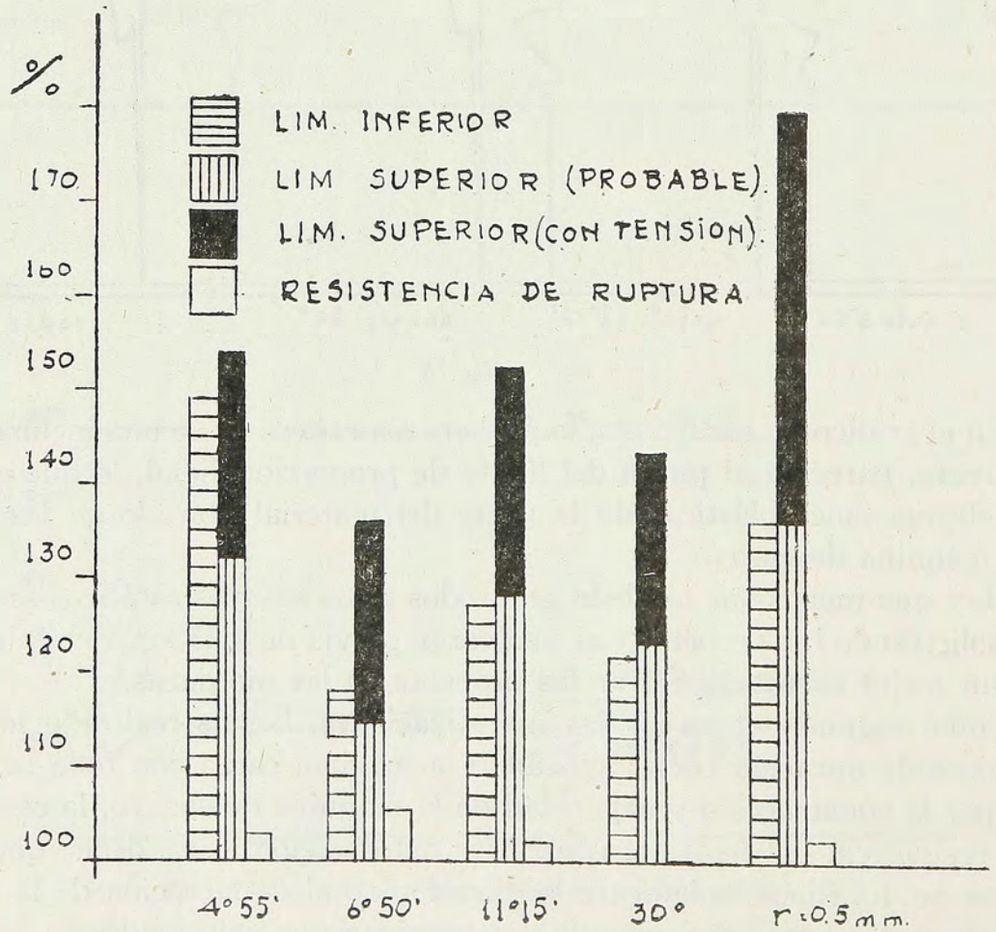
máquina Amsler de 10 ton. con escala también de 10 ton. La aplicación de la carga en el tiempo más breve posible fué realizada de la siguiente manera: después de fijar la probeta en la máquina, dando una carga previa de 1,25 kg./mm.^{2}, se abrió la válvula de inyección totalmente y se había puesto en marcha el motor eléctrico de accionamiento de la bomba de aceite.

La lectura de las cargas correspondientes a distintos puntos fué tomada por la observación del movimiento de la aguja, como también de acuerdo a los gráficos registrados sobre un tambor en escala 1:1. Las dimensiones de las probetas eran iguales a las de los ensayos anteriores. Los resultados de los ensayos se indican en la tabla N.° 2.

TABLA N.° 2

Angulo (grados)	Duración del ensayo (seg.)	LIMITE DE FLUENCIA		Resistencia de ruptura
		Inferior (kg./mm.^{2})	Superior (kg./mm.^{2})	(kg./mm.^{2})
4° 55′	19	39.8	51.2	43.6
6° 50′	20	32.1	40.0	44.6
11° 15′	17	34.2	43.9	43.3
30°	17	33.0	41.0	43.3
Radio 0.5 mm.	18	36.2	51.7	43.3

FIG. 6.



De esta tabla se ve que aplicando la fuerza dinámicamente, aumentan mucho ambos límites de fluencia y muy poco la resistencia de ruptura, mientras que el alargamiento no tiene una variación definida. Comparando estos valores con los mismos de los ensayos estáticos se ve que con el aumento de la velocidad de deformación se aumenta automáticamente la resistencia del material contra las deformaciones, fenómeno generalmente conocido. En el diagrama N.° 6 están indicados los aumentos de valores obtenidos en los ensayos dinámicos, en por cien-

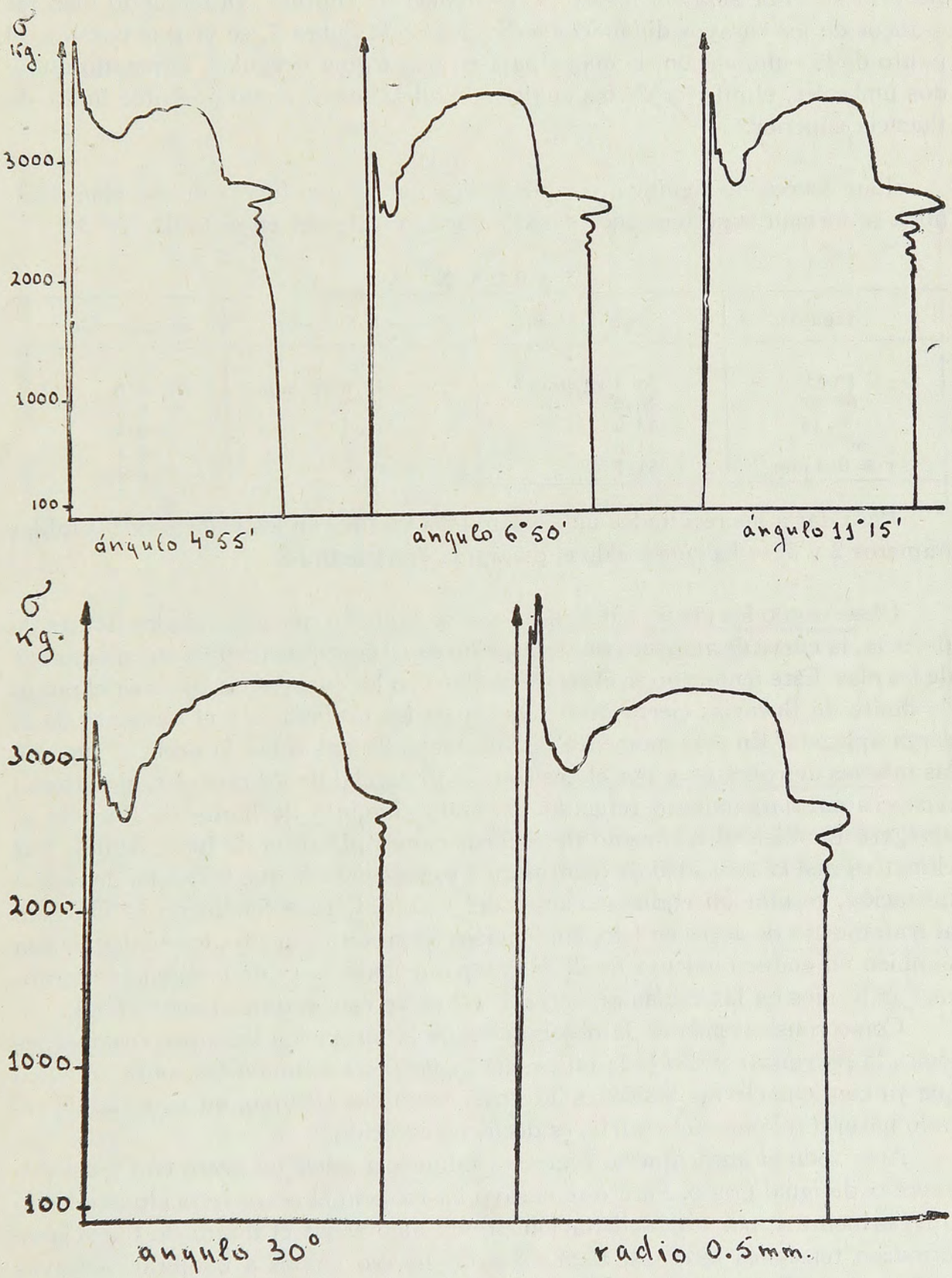


Fig. 7

tos de los mismos estáticos. De este diagrama se ve que el aumento del límite inferior varía entre 18 y 49% y el del superior (probable) entre 15 y 36%, mientras que los valores de la resistencia de ruptura aumentan unos 2,5 a 5,4%. También aquí los máximos valores del límite de fluencia superior se obtuvieron con las probetas de ángulo 4° 55′, como también las máximas diferencias entre ambos límites.

Es muy interesante señalar que en algunos casos los valores del límite de fluencia superior superan los de la resistencia de ruptura. Observando bien los gráficos de los ensayos dinámicos indicados en la figura 7, se ve que pasando el punto de la culminación, la curva baja en una forma irregular, formando uno o dos umbrales, el inferior de los cuales se podría tomar como probable límite de fluencia superior.

Este fenómeno significa que por aplicación de una fuerza de tracción dinámica se forman supertensiones, cuyo valor se puede ver en la tabla N.° 3.

TABLA N.° 3

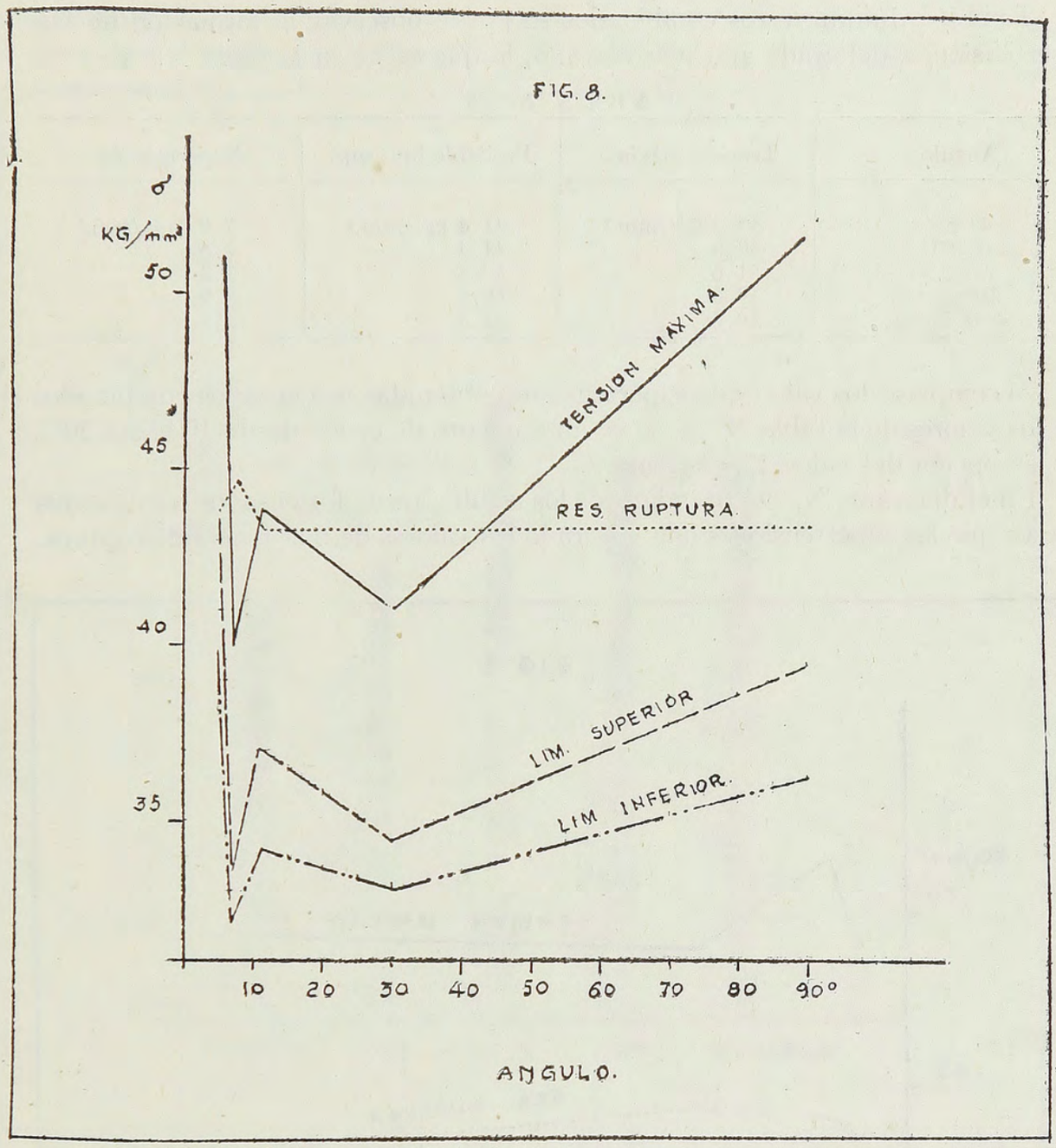
Angulo	Tensión máxima	Probable lim. sup.	Supertensión
4° 55′	51.2 kg./mm.²	43.6 kg./mm.²	7.6
6° 50′	40.0	33.7	6.3
11° 15′	43.9	37.0	6.9
30°	41.0	34.3	6.7
r = 0.5 mm.	51.7	39.4	¿¡ 12.3 !?

Para dar a los resultados un aspecto más visible con los valores de las tablas números 2 y 3, se ha construído el diagrama de la figura 8.

Observando los gráficos del ensayo se ve también que pasando los límites de fluencia, la curva de aumento de la carga no sigue continuamente sino en la forma de las olas. Este fenómeno se observa también en los ensayos estáticos en el punto de límite de fluencia: cierta prolongación de las probetas sin el aumento de la carga aplicada. En este momento las fuerzas aplicadas sobre la probeta superan las mismas de cohesión y por el deslizamiento parcial de los cristales, el material recupera su alargamiento retenido. Pasando el punto de límite de fluencia se agregará también el fenómeno de deformaciones plásticas de los cristales. Por el motivo que la velocidad de deformación es más grande que la misma de recristalización, resulta un endurecimiento del material. Este fenómeno es parecido al tratamiento de acero en frío, laminación, forja, estiramiento, los cuales causan también un endurecimiento final. Al comparar los valores de resistencia de ruptura indicados en las tablas números 1 y 2 se ve este endurecimiento final.

Como consecuencia de la observación de la formación de supertensiones, es lógica la pregunta: ¿Cuál es la influencia de las fuerzas dinámicas sobre un acero que ya contiene ciertas tensiones internas, como por ejemplo, un material en estado natural o laminado en frío, es decir, no recocido?

Ante todo el autor quería fijar esta influencia sobre un acero con tensiones internas de igual grado. Para este ensayo ha tomado el acero recocido empleado anteriormente y por una solicitación previa algo sobre el límite de fluencia se formaron tensiones internas. Esta clase de ensayo vamos a nombrar «ensayos combinados», los cuales se realizaron de tal manera que la probeta fué previa-



mente solicitada sobre el límite 0,2% y después descargada para ser nuevamente solicitada con una fuerza dinámica hasta la ruptura. Los resultados de ensayo son indicados en la tabla N.° 4.

TABLA N.° 4

Angulo (grados)	Duración del ensayo	LIMITE DE FLUENCIA		Resistencia de ruptura (kg./mm.²)
		Inferior (kg./mm.²)	Superior (kg./mm.²)	
4° 55′	7 min.	26.5	32.6	—
	19 seg.	39.4	49.3	43.6
6° 50′	9 min.	27.2	31.1	—
	17 seg.	39.5	49.0	43.6
11° 15′	9 min.	26.9	29.1	—
	17 seg.	40.5	51.6	44.2
30°	8 min.	27.4	28.7	—
	18 seg.	39.8	49.0	44.4
r = 0.5 mm.	7 min.	26.5	29.1	—
	18 seg.	38.8	49.6	43.3

También durante estos combinados se puede observar la formación de las supertensiones, del grado aún más elevado, lo que se ve en la tabla N.° 5.

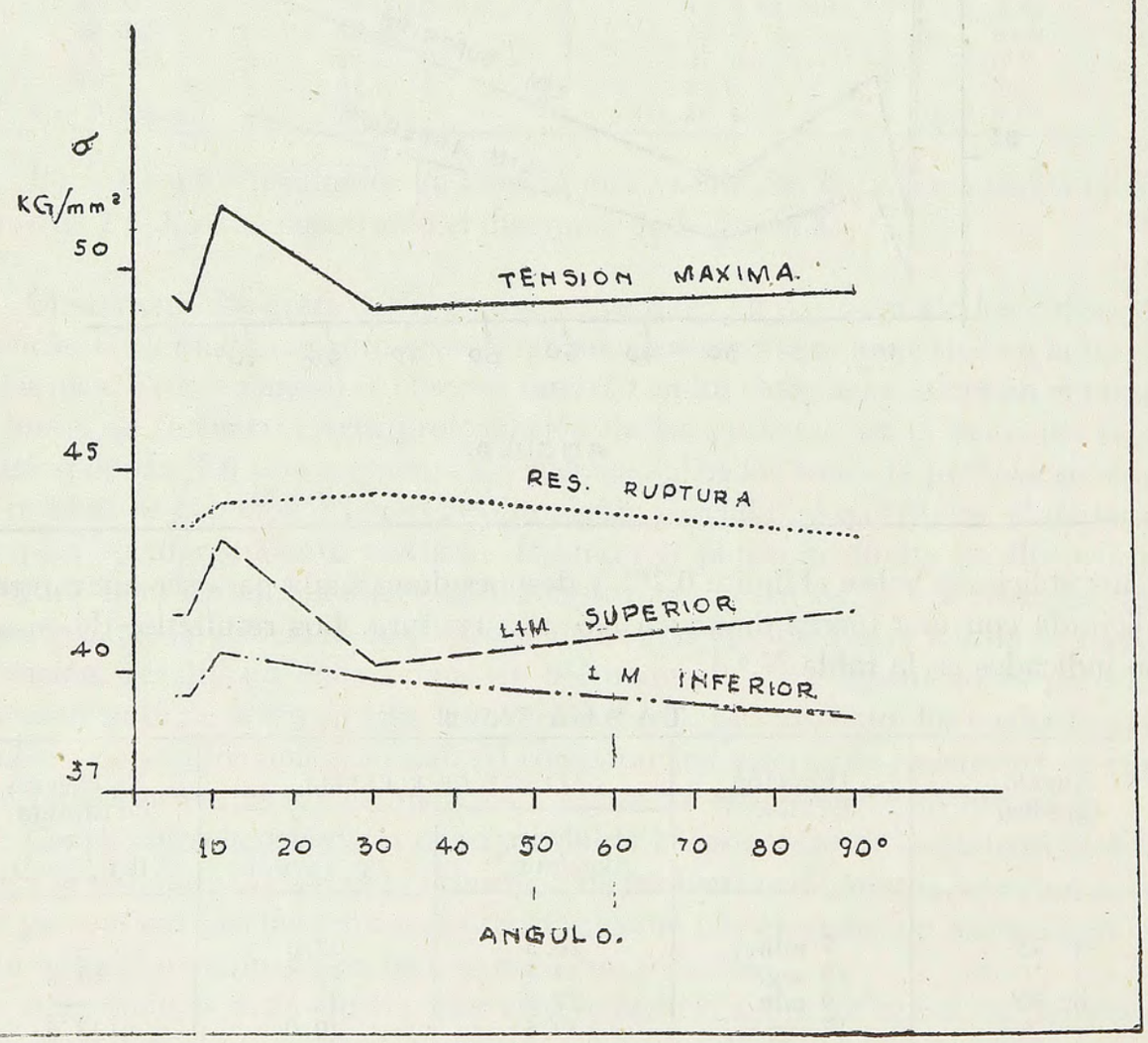
TABLA N.° 5

Angulo	Tensión máxima	Probable lim. sup.	Supertensión
4° 55′	49.3 kg./mm.²	41.4 kg./mm.²	7.9 kg./mm.²
6° 50′	49.0	41.4	7.6
11° 15′	51.6	43.3	8.3
30°	49.0	40.1	8.9
r = 0.5 mm.	49.6	41.4	8.2

Al comparar los valores de supertensiones obtenidas con ensayos combinados con los valores de la tabla N.° 3, se ve un aumento de orden desde 10 hasta 20% con excepción del valor 12,3 kg./mm.².

En el diagrama N.° 9 son indicados los resultados de los ensayos combinados y se ve que las supertensiones han superado los valores de resistencia de ruptura.

FIG 9.

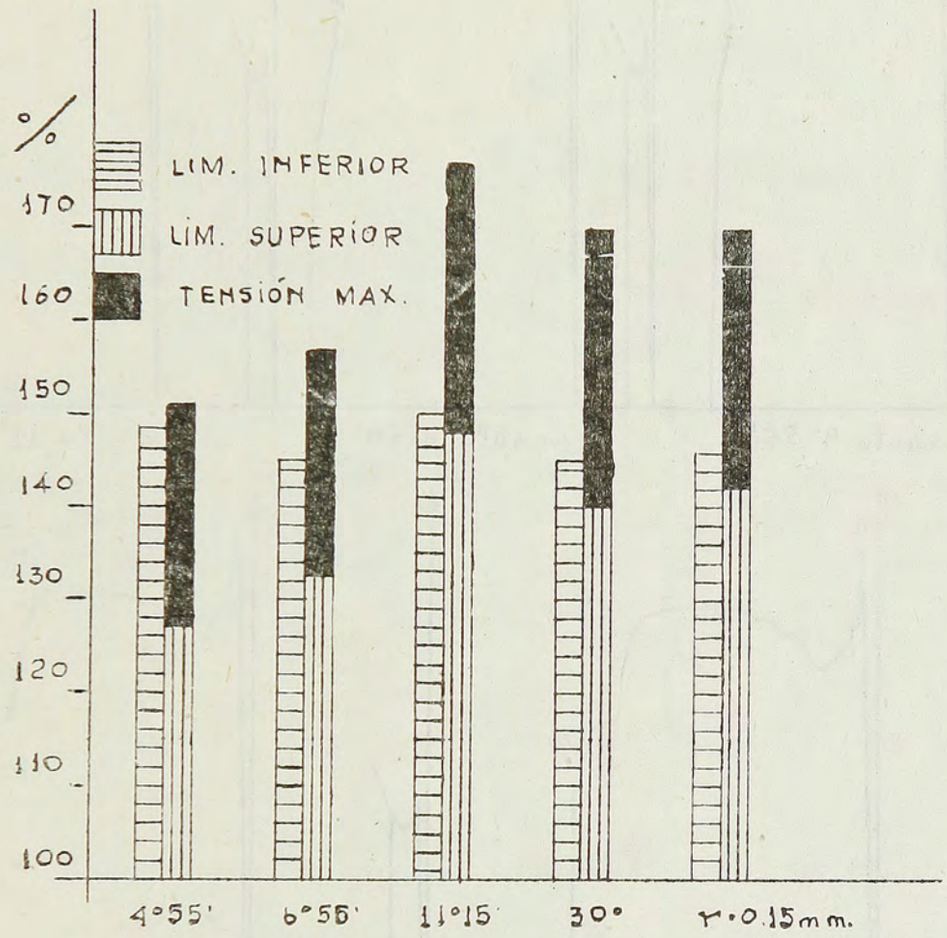


Máximos valores, como también diferencias, se obtienen con las probetas de ángulo 11° 15′ y los mínimos con el ángulo de 30°.

El aumento de los límites de fluencia en comparación con los ensayos está-

ticos tomados como 100% indica el diagrama N.° 10; de este diagrama se ve que, en general, el aumento de valores de los límites de fluencia es más grande que en

FIG. 10



los ensayos dinámicos y, además, más uniforme entre varias probetas. Tabla número 6.

TABLA N.° 6

Angulo	Ensayos estáticos (%)	Dinámicos		Combinados	
		LIMITE DE FLUENCIA (%)			
		Inf. (%)	Sup. (%)	Inf. (%)	Sup. (%)
4° 55′	100	+ 49	+ 32	+ 48.5	+ 27
6° 50′	100	+ 18	+ 14.5	+ 45	+ 33
11° 15′	100	+ 27	+ 28	+ 50	+ 48
30°	100	+ 21.5	+ 23	+ 45	+ 40
r = 0.5 mm.	100	+ 36	+ 36	+ 46	+ 42

Los gráficos de los ensayos combinados se indican en la figura 11. También aquí se observa la recuperación del alargamiento retenido y, por lo tanto, un cierto endurecimiento final, el cual difiere poco de los resultados dinámicos.

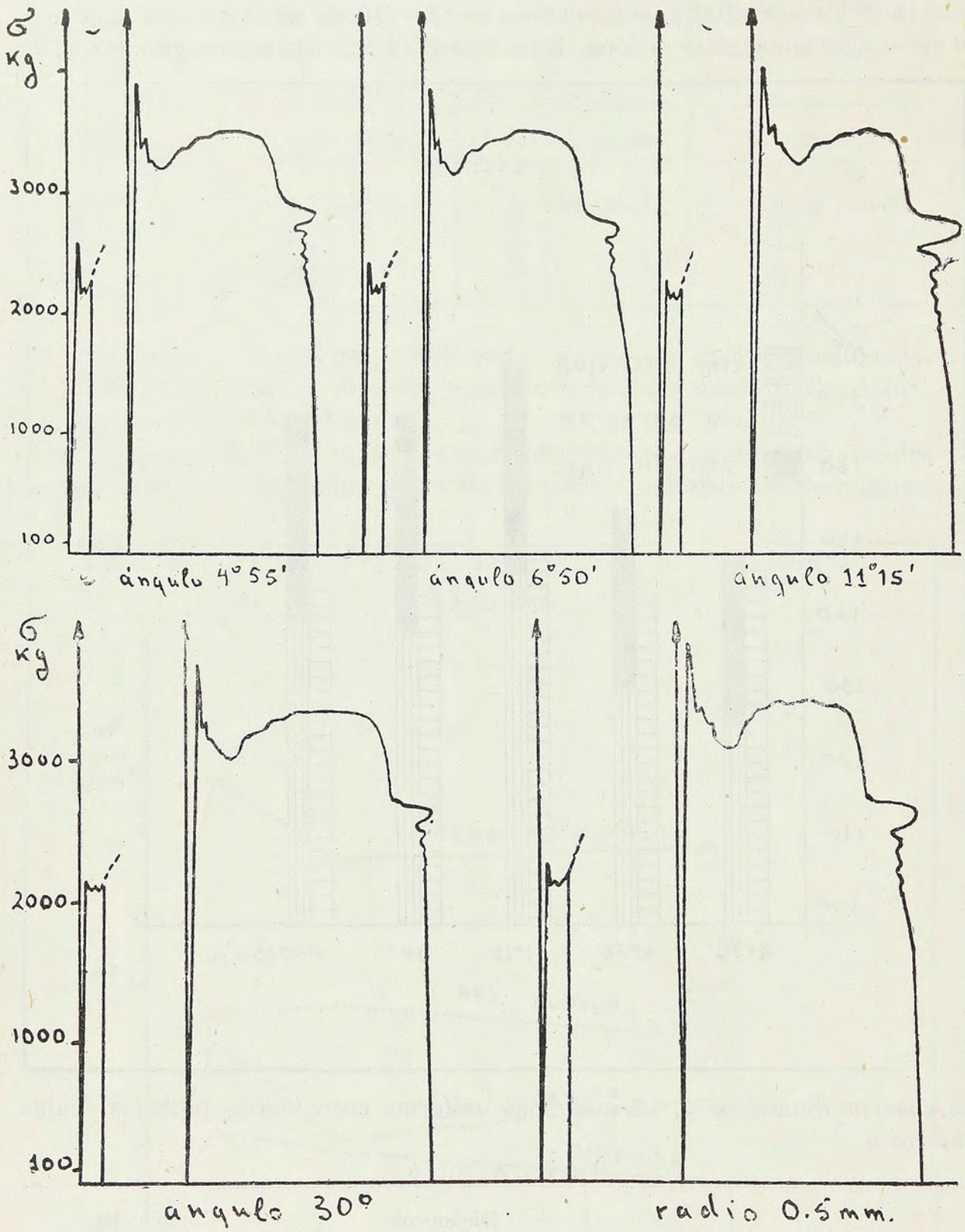


Fig. 11

Los gráficos darán un perfecta idea de diferencias entre los límites de fluencia obtenidos por ensayos estáticos y los mismos combinados. En este caso los valores se han obtenido sobre la misma probeta.