

ANEXOS

1 Guía para ensayos de tenacidad a la fractura basado en el ensayo ASTM E 1820 considerando una probeta CTO de materiales API 5L X65

La presente guía se ha desarrollado a partir del uso de una probeta compacta CTOD (Fig. A1) previamente pre fisurada por fatiga de material API 5L X65 con las siguientes dimensiones:

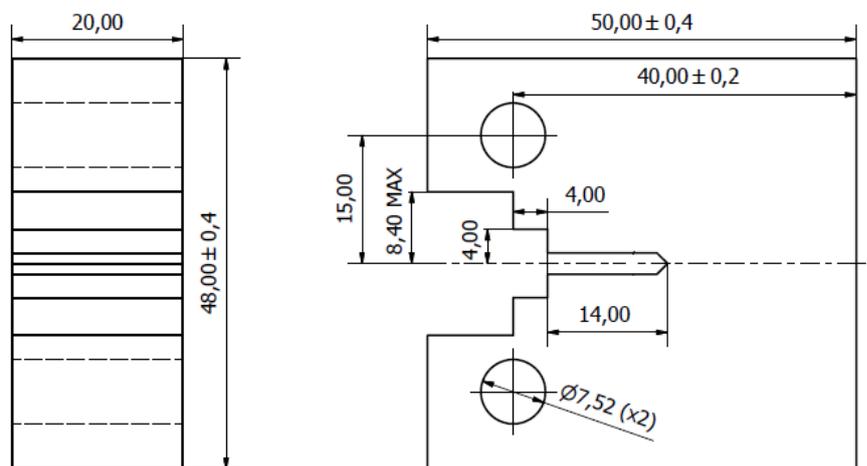


Fig A1. Dimensiones de probeta CTOD

Donde, $W = 40$ mm, $B = 20$ mm , $a_0 = (18$ mm+ longitud de grieta por prefisura) y $b_0 = (22$ mm - longitud de grieta por pre fisura).

1.1 CONEXIÓN DE SENSORES

Antes de realizar el encendido de la máquina de tracción, se conecta la galga de desplazamiento (Fig. A2) en la parte posterior del equipo de tracción Zwick.



Fig.A2. Galga de desplazamiento

1.2 ENCENDIDO DEL EQUIPO Y CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE

1. Encender el equipo de tracción.
2. Encender la computadora de escritorio.
3. Cargar el Software TestXpert II. Al cargar se selecciona la plantilla de trabajo **sx202-02.zp2: Master test program to ASTM E 1820 2011. Determination of quasistatic fracture for compact specimens** (Fig. A3)

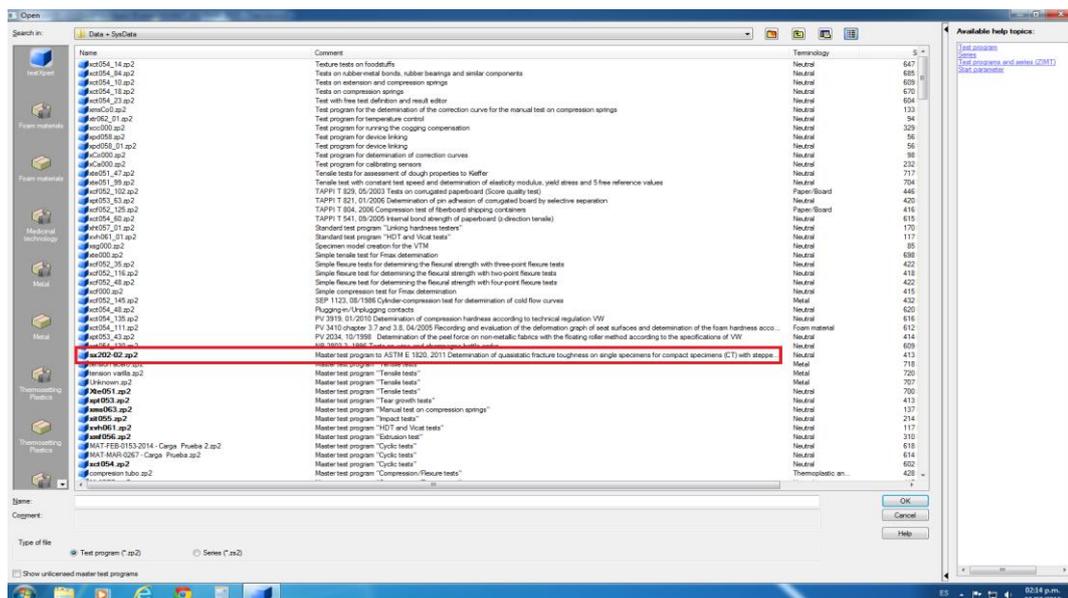


Fig.A3 Ventana de selección de plantilla

1.3 CONFIGURACIÓN DE SENSORES Y ALINEAMIENTO DE LA PROBETA

1. En la opción de sensores, verificar que se ha seleccionado la galga extensométrica de acuerdo a la Figura A4.

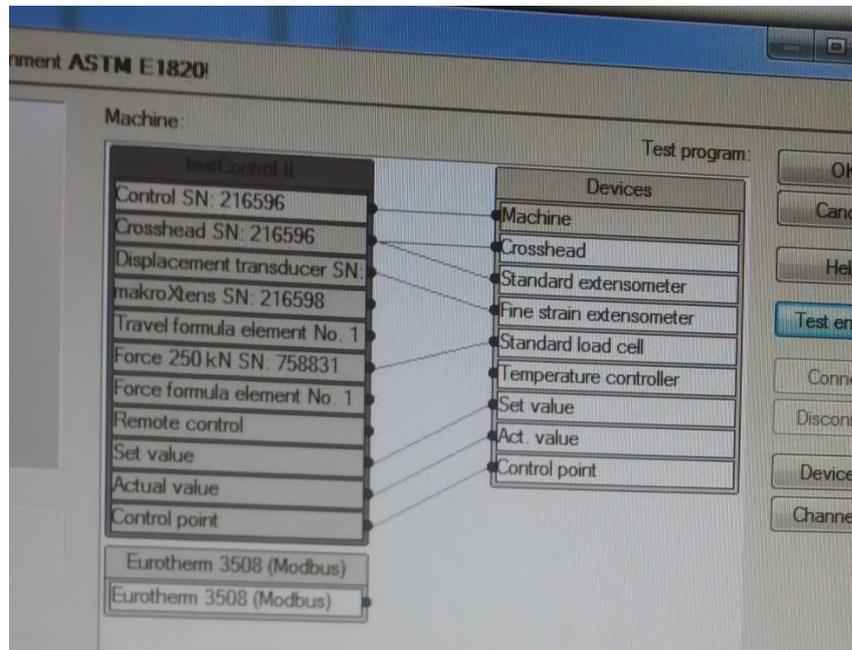


Fig.A4. Imagen de conexión de sensores

2. Mover la máquina hacia abajo y colocar los equipamientos necesarios para realizar la conexión de la probeta.
3. Conectar las galgas extensométricas dentro del escalón con muescas en la probeta CTOD (Fig. A5)



Fig. A5. Conexión de equipamientos para ensayos de rotura

1.4 DATOS DE ENTRADA DE DIMENSIONES DEL EQUIPO

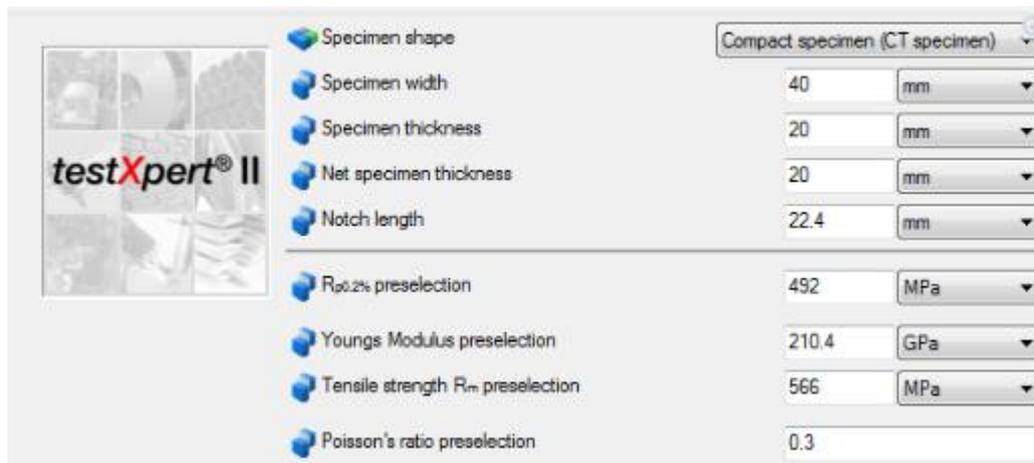


Fig. A6. Pestaña de dimensiones de probeta

3.1 Se selecciona *Specimen Shape*: Compact specimen, en caso se vaya a usar la Probeta Compacta.

3.2 Los valores de *Specimen width*, *Specimen thickness* y *Net specimen thickness* se refieren al ancho, espesor y al espesor en la zona de la ranura. El valor de *Notch length* se determina a partir de la medición de la grieta generada por pre fisura.

3.3 Los valores de *$R_{p0.2\%}$ preselection*, *Young Modulus preselection*, *Tensile strength R_m preselection* y *Poisson's ratio preselection* se refieren a los valores determinados por el ensayo de tracción correspondientes a las propiedades mecánicas del material.

1.5 DATOS DE LAS PESTAÑAS DE PARÁMETROS DE ENSAYOS

Verificar dentro de la pantalla *Wizard* y revisar las pestañas *Pretest*, *Conditioning cyles*, *cycles crack length*, *cycles*, *R-curves* y *Test parameters*.

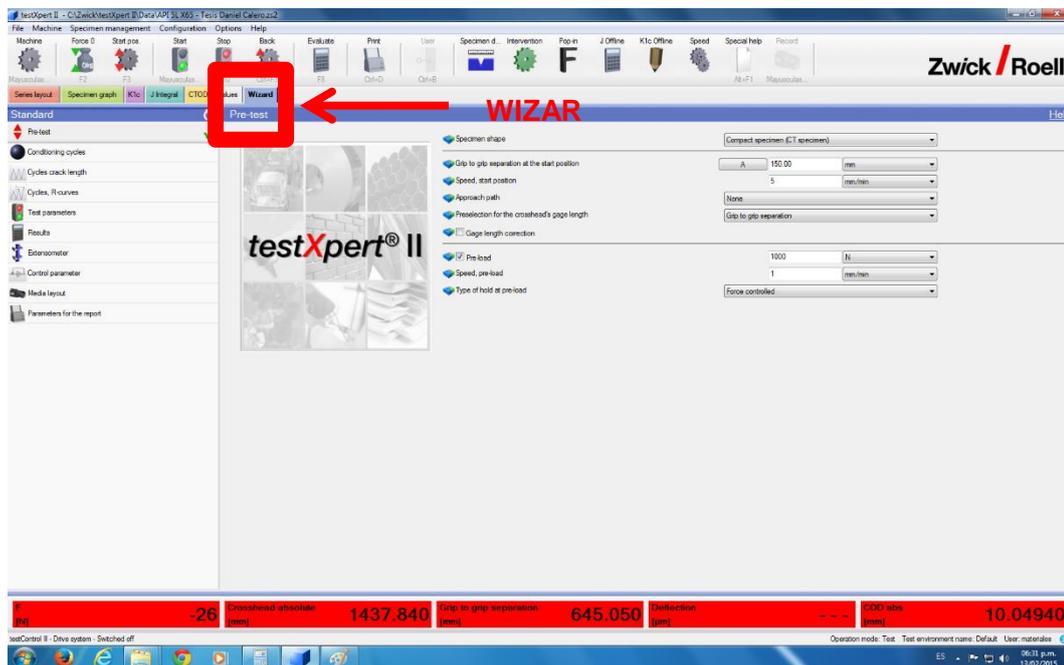


Fig. A7. Pestaña Pretest

A) Pretest: En esta pantalla aparecen diferentes opciones (Fig.A7):

- *Grip to grip separation at the start point* que es el valor de la diferencia entre los grips, señalada en la figura de alineación y determinada por la letra B.
- Approach path, que se recomienda que sea la suficiente como para llegar a 1000N como fuerza de pre ensayo de 0.3 a 3 minutos, se trabaja con 5 mm/min como velocidad de pre ensayo.
- En Pre-load se selecciona 1000 N, la cual es una fuerza mínima a la que se dará inicio del ensayo. Con una velocidad *speed pre-load*, que se recomienda que sea la suficiente como para llegar a 1000N como fuerza de pre ensayo de 0.3 a 3 minutos, se trabaja con 5 mm/min como velocidad de pre ensayo.

B) Conditioning cycles: Que se refiere a los ciclos de condicionamiento que tiene la máquina para setearse (Fig. A8). Se determinó que entre 3 y 4 ciclos era suficiente para esta autoconfiguración.

- Num. of condit. Cycles : 3 (Recomendado por ASTM E 1820)

- Upper reversal point conditioning cycles/Lower reversal point of conditioning cycles: Se recomienda un valor no mayor de 4000N en el caso del API 5L al ser un acero muy tenaz. El mínimo valor es el valor final de la etapa de Pretest.
- Speed Conditioning cycles (Strain controlled): La velocidad deberá ser baja (entre 0.10 mm/min y 0.15 mm/min) esto para evitar que haya cierta inestabilidad en caso haya crecimiento de grieta.

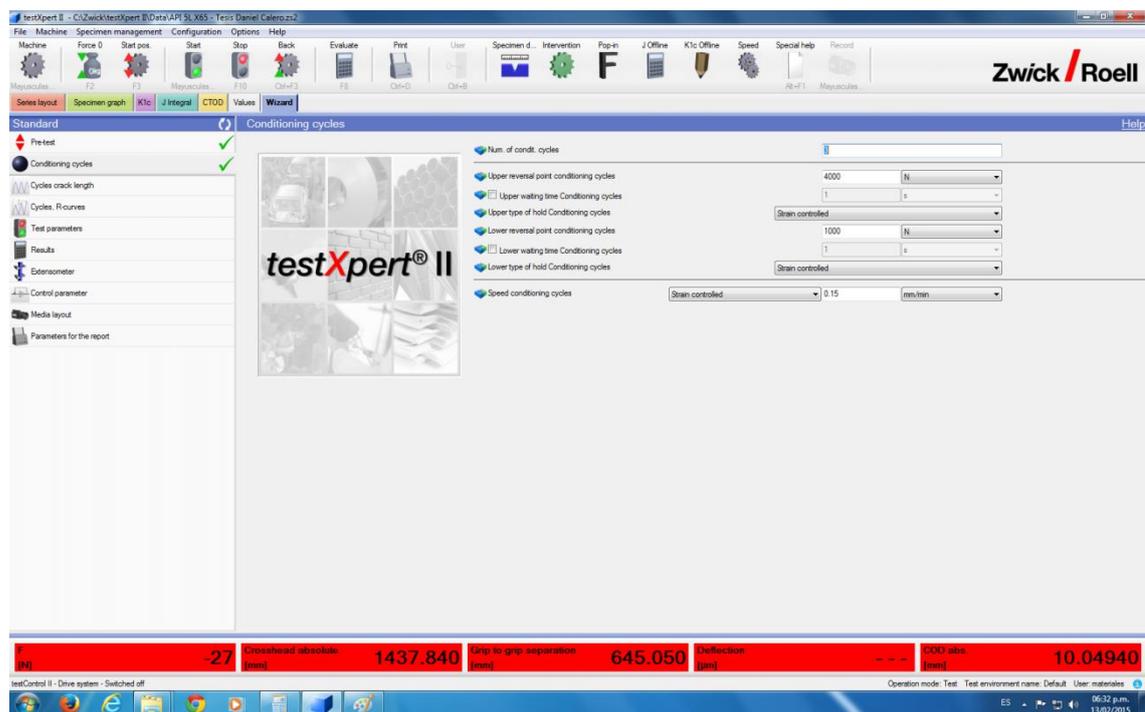
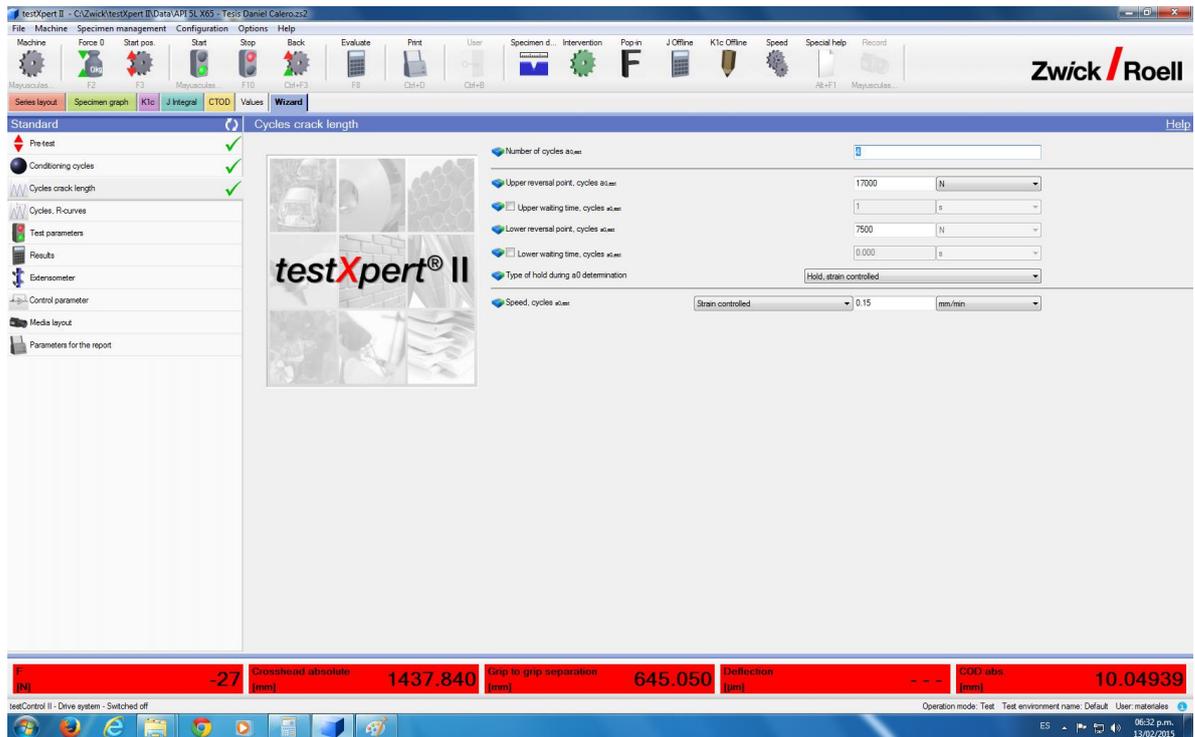


Fig. A8. Pestaña de *Conditioning Cycles*

C) Cycles Crack Length: Esta etapa está diseñada para que la máquina realice la medición de la longitud de grieta de acuerdo a la compliancia elástica de la misma (Fig. A9).



Fi.A9. Pestaña de Cycles Crack Length

- Num. of cycles $a_{0,est}$: 3, recomendado por ASTM E 1820; podrían ser más, pero puede que se genere estabilidad de crecimiento de grieta.

- Upper reversal point $a_{0,est}$ /lower reversal point $a_{0,est}$: determinado por P_m de acuerdo a ASTM E1820, basado en sus dimensiones y propiedades mecánicas. El valor mínimo deberá ser el 50% del valor máximo, $50\%P_{max}$, determinado por ASTM E 1820.

- Speed cycles $a_{0,est}$: La velocidad también puede variar entre 0.10 mm/min y 0.15 mm/min, puede ser igual a la velocidad de acondicionamiento.

D) Cycles, R-curves: Estos ciclos sirven para poder realizar los ciclos R, necesarios para la determinación de la curva integral J. (Fig.A10)

- Number of cycles, R-curves: Se recomienda entre 15 y 20 ciclos R para obtener una mayor precisión en el ensayo. Se pueden trabajar con menos ciclos R, pero existe la posibilidad de no tener suficientes datos validos dentro de la región aceptable y anular el ensayo.

- Force at start of cycles, R-curves: Fuerza determinada por el ensayo de pre fisura por fatiga, es el valor de la Fmax del ensayo de prefisura por fatiga.
- Load Stage, R-curves: Es un valor referencial para el ensayo, se trabaja con 25000N y 30000N para el caso del API 5L X65.
- *Speed Load Stages, R-curves*: Deberá ser mayor que las dos primeras etapas, aproximadamente 0.20 y 0.25 mm/min; sin embargo, deberá ser menor cuanto mayor sea la fractura inicial en el ensayo debido a que puede generar endurecimiento por plastificación durante los ciclos R.
- *Minimum/máximum relaxation time, R-curves*: El estándar ASTM E 1820 no tiene una recomendación determinada para estos parámetros, se mantienen en 30 y 90 s como configura el software por defecto.
- *Strain increase per load stage, R-curves*: Este valor deberá definirse a partir del valor de b_0 , ya que la norma restringe este valor a un máximo de 5% de b_0 . La máquina de ensayos reconocerá este valor como el principal limitante para el cambio de ciclo, cuando reconozca el aumento, automáticamente cambiará al siguiente ciclo R (carga-descarga).

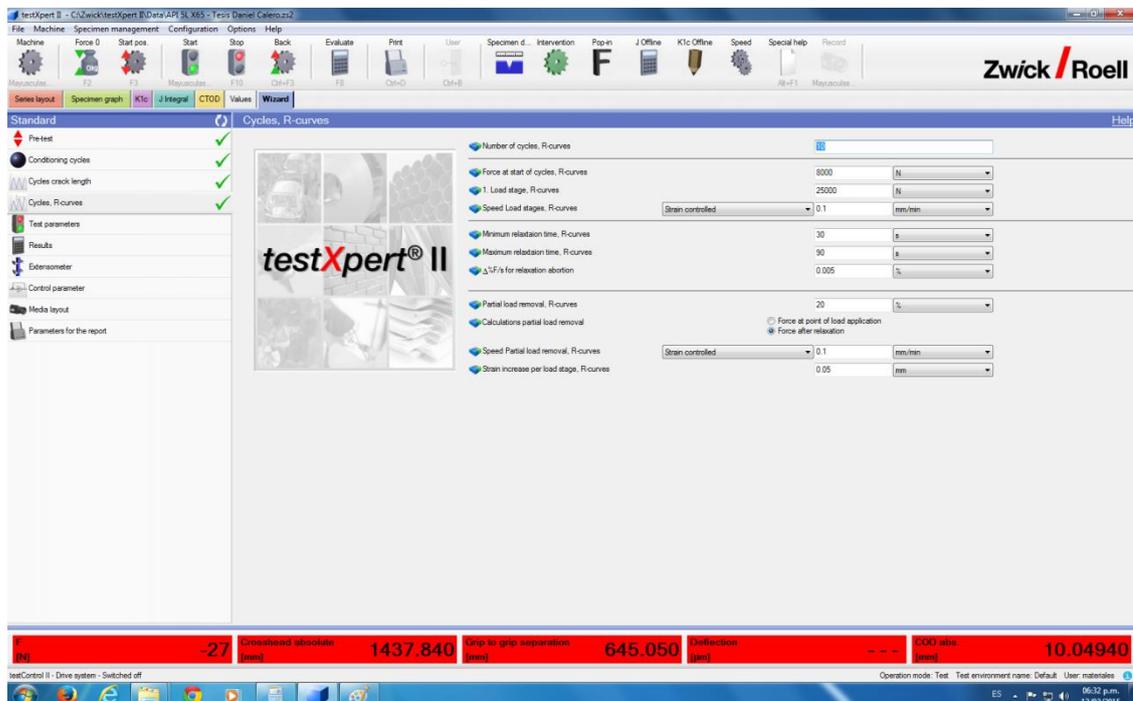


Fig. A10 Pestaña de Cycles, R-curves

1.6 CALCULO DE J

Para el cálculo de J usando el software TestXpert, se recomienda haber trabajado los diferentes ensayos como series dentro de un mismo archivo de ensayos.

1. Una vez realizado el ensayo se procede a medir la longitud inicial y final de grieta de acuerdo a lo planteado por ASTM E 1820 (*Optical Crack Measurement*)..

2. Se hace clic en el botón J Offline y en la pestaña a0 input se coloca el valor medido de acuerdo a ASTM E 1820. (Fig. A11)

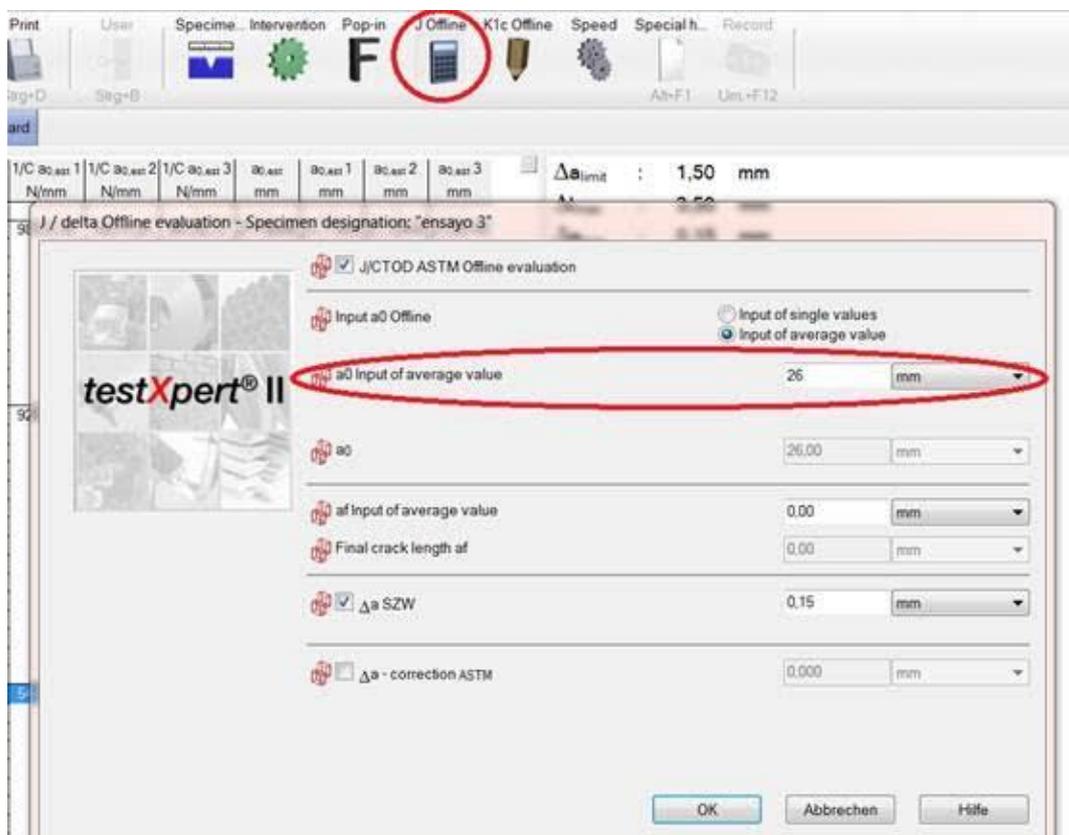


Fig. A11. Cálculo de J

3. En la pestaña Integral J ya se puede ver el resultado del ensayo graficado por el software de acuerdo a ASTM E 1820, considerando los valores límites así como el cálculo de J_Q . Se recomienda corroborar estos resultados con el cálculo numérico de integral J.

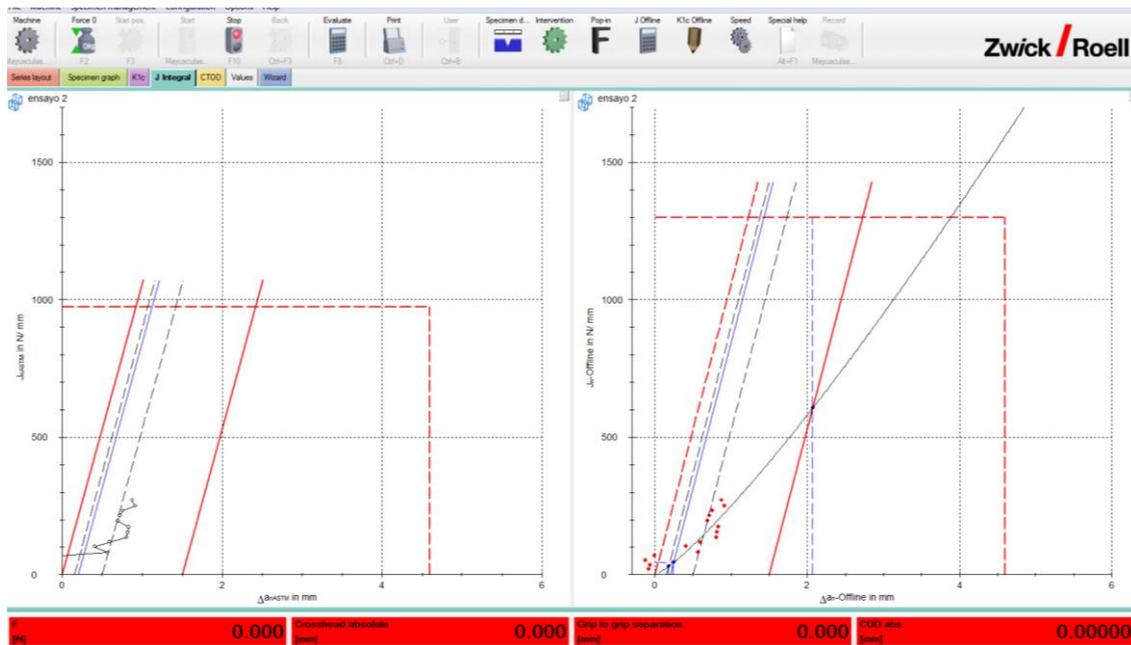


Fig A12. Gráficas de Integral J

2 CD con hoja de datos Excel para validar los cálculos

Se presenta el siguiente CD con el archivo Excel, cuyas pestañas contienen:

2.1 Cálculo de J para Ensayo CTOD 1

2.2 Cálculo de J para Ensayo CTOD 2

2.3 Cálculo de J para Ensayo CTOD 3

2.4 Cálculo de J para Ensayo CTOD 4

2.5 Cálculo de JQ interno para CTOD 1

2.6 Cálculo de JQ interno para CTOD 2

2.7 Cálculo de JQ interno para CTOD 3

2.8 Comprobación de criterios de validez de ASTM E 1820