

Fatigue crack growth rate base-curve involving thickness and stress ratio in 2024-T3 & T351 aluminium alloys.

Rodríguez, I.¹, Ortega, N.¹, Lunas, J.¹, Pedraza, C.¹, Martín, A.¹

ABSTRACT

The availability of reliable fatigue crack growth (FCG) prediction tools is essential to the design of structures subjected to fatigue loading. Constant amplitude (CA) test provides Δk vs. da/dN data, but CA test data applicability is limited because of the strong influence of stress ratio (R) and thickness on the FCG.

To develop crack growth rate base-curves involving thickness and R , available CA test data from literature have been analysed according to PIFCC fundamentals and considering the transition from plane strain state to plane stress state at the crack tip. This tool is able to estimate Δk vs. da/dN data under CA loading for thicknesses and stress ratios of which there is no information available, especially for thin components (1 to 5 mm) in which the stress state transitions hinder the estimations. Applied to 2024 and 7075 aluminium alloys it provides an expression of FCG rate along 4 decades.

Keywords: Fatigue, C.A. behaviour, AA2024, AA7075.

1. INTRODUCCIÓN.

La herramienta básica de predicción de crecimiento de grietas de fatiga son los ensayos CA, que pueden proporcionar datos Δk (o $k_{M\acute{a}x}$) vs. da/dN desde valores de crecimiento próximos al umbral hasta la rotura. Introducido el cierre de grieta desde criterios plásticos (PIFCC), la definición de Δk_{ef} como variable directora del crecimiento agrupó las curvas de crecimiento para cualquier R en la zona de comportamiento de Paris, como muestra la Fig.1. También desde conceptos PIFCC, los primeros modelos de crecimiento bidimensionales Strip-Yield introducen un factor de constricción promedio " α " que les permite afrontar problemas triaxiales adaptando la tensión de fluencia a tracción al estado tensional del frente de grieta. La elección de los valores de " α " han sido empleadas frecuentemente como parámetros de ajuste del modelo y por facilitar la convergencia en valores efectivos.

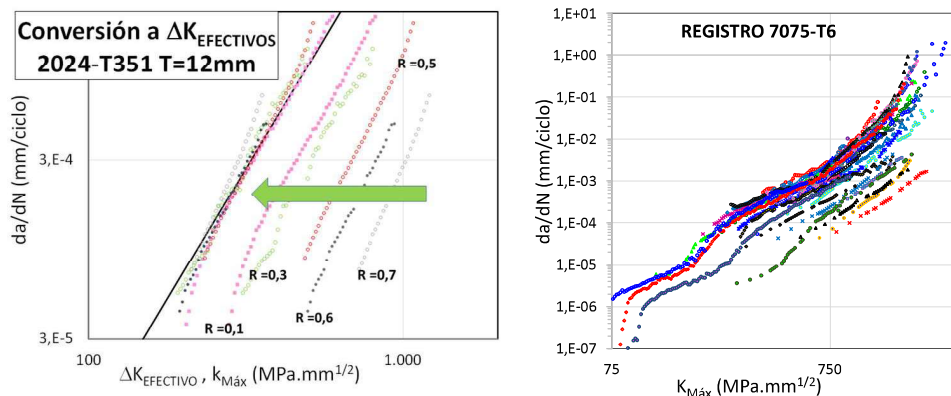


Figura 1. Conversión a valores efectivos desde $k_{M\acute{a}x}$. (izda.), Registros empleados en aleación 7075-T6 (dcha.)

¹ Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación. Universidad de Málaga. (España).

irene.rodriguez.calero@gmail.com, noemioregasuarez@uma.es, 06198747964@uma.es, cpedraza@uma.es,

La transición entre estados tensionales ha sido relacionada con valores de da/dN , Δk_{ef} o la relación entre radio plástico y espesor del elemento. Junto a esto, cambios en el crecimiento a espesores bajos (3-6 mm) y notables a espesores de 1 a 3 mm, han limitado los modelos y ecuaciones de crecimiento que incluyen espesor y R. En este trabajo se desarrolla el método de puntos singulares aplicado por Martín [1] a AA2024 y por Zúñiga [2] a AA7075 y se aplica a AA7050-T7451. La capacidad del modelo para estimar la senda de crecimiento en espesores muy reducidos se ha extendido hasta espesores de 1 mm.

2. MÉTODO DE PUNTOS SINGULARES PARA ESTIMACIÓN DE CRECIMIENTO DE GRIETAS BAJO C.A.

En las aleaciones de estudio la senda de crecimiento exhibe diferencias que dificultan su análisis. La Fig.1. incluye los registros empleados en la aleación AA7075-T6 obtenidos del programa NASGRO o recopiladas de publicaciones. En la Fig.2. se muestra el perfil genérico de crecimiento para estas aleaciones, el perfil sinuoso en zonas de crecimiento umbral no es explicable desde planteamientos PIFCC, y sugiere la existencia de otros mecanismos de crecimiento. El estudio de Wanhill [3] sobre esta etapa de crecimiento destaca los cambios en la topografía de fractura hasta alcanzar el punto marcado como 3 en la Fig.2. donde, desde caras corrugadas de topografía rugosa va incorporando las comunes estrías homogéneas de fatiga, disminuyendo la rugosidad y la deflexión en la grieta hasta iniciar en punto 4 el crecimiento estable, con los puntos 2,3 y 5 presentándose a da/dN similares.

La pendiente de Paris del material se obtiene desde ensayos de espesor medios y R baja, aplicándola a cada registro para identificar el "C" propio. El inicio de transición lo define el espesor y se da en todo R a una misma da/dN . En la Fig.2. (dcha.) se aprecia cómo para dos R, dos espesores comparten tramo lineal de Paris en deformación plana (DP) y, a una misma da/dN los registros de menor espesor se bifurcan en transición hacia Paris en tensión plana (TP). En ambas imágenes de la Fig.2. se ha representado la transición con una pendiente común a todos los R y espesores del material, y su valor es obtenido del conjunto de registros que presentan esta etapa. En la zona inicial de crecimiento, estas aleaciones ofrecen un punto singular de crecimiento en el que es posible su posicionamiento en da/dN , $k_{M\acute{a}x}$ y la pendiente con la que transita. En el punto "3" de la Fig.2. se produce la inflexión que refleja cambios en el mecanismo de crecimiento; es identificado para la aleación AA7075-T6 en la Fig.3. y se indica su valor de $K_{M\acute{a}x}$. La Fig.3. (dcha.) muestra los datos de da/dN de AA2024 en los que comienza la transición. La inclusión de espesores de 1 mm ha sido posible en la aleación AA7075-T6 prolongando la pendiente de la inflexión hasta confluir con la transición trazada desde el punto de inicio de Paris en TP.

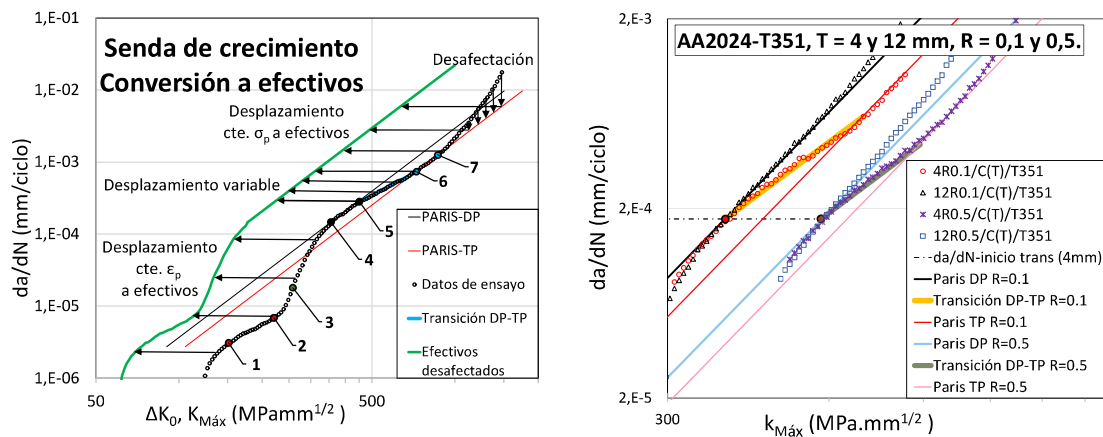


Figura 2. Senda de crecimiento genérica en AA2024, puntos singulares empleados y conversión a valores efectivos (izda.). Puntos de inicio de transición y tramos de Paris en DP y TP en 2024-T351 (dcha.).

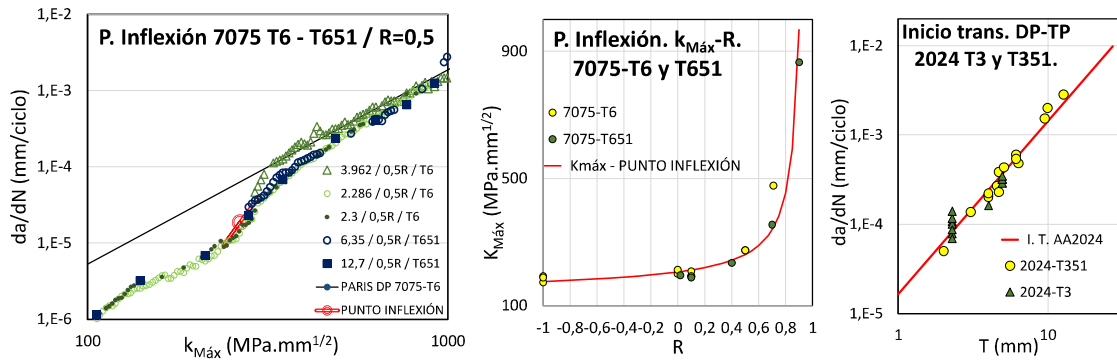


Figura 3. Confluencia de sendas de crecimiento de diferentes registros y calidades para un mismo R en el Punto de Inflexión (izda.). Valores de $k_{Máx}$ en función de R del Punto de Inflexión para 7075-T6 y T651 (centro). Estimación de da/dN de comienzo de transición de DP a TP para la aleación 2024-T3 y T351 (dcha.).

En cada registro se valora la aceleración presente en valores de $k_{Máx}$ superiores al de inicio de efectos de k_c . La Fig.4. (izda.) muestra funciones de ponderación en función de la relación $k_{Máx}/k_c$. Como indica la Fig.2. (izda.) la desafectación de los registros se proyecta sobre la senda de crecimiento. Para la conversión a valores efectivos según las ecuaciones de Newman [4] se toman valores de “ α ” 1.73 para DP y, para TP, 1.10 (AA7075) y 1.15 (AA 7075 y AA2024). Los valores efectivos son corregidos mediante el método 2π de Paris-Donald [5] obteniendo los valores respecto a la variable directora Δk_0 . La conversión a valores Δk_0 agrupa el conjunto de ensayos como se aprecia en la Fig.4. (dcha.) para la aleación AA7075-T6 con geometrías, espesores y condiciones de ensayo muy diferentes. Los valores de “ α ” reducen la dispersión, haciendo más representativa la recta base. La recta inferior es definida en esta etapa en valores Δk_0 como una envolvente superior de los tramos rectos exhibidos por los distintos ensayos.

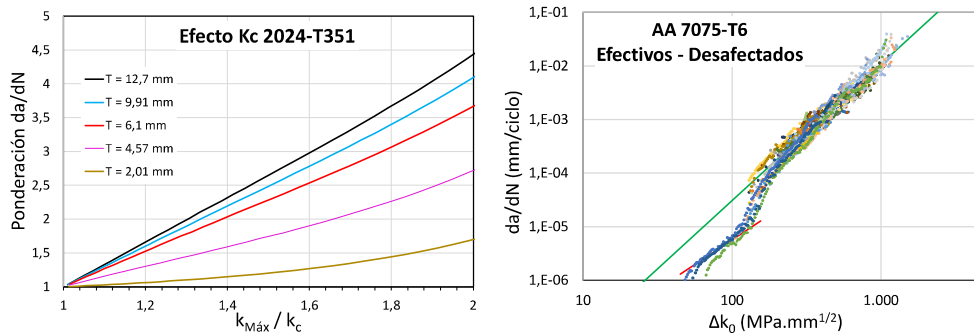


Figura 4. Funciones de ponderación del efecto K_c la aleación 2024T-351 (izda.). Convergencia en valores efectivos de los datos de crecimiento para los registros 7075-T6 y Recta base del material en valores efectivos (dcha.).

Para la generación de los registros CA se desharán las transformaciones. En la Fig.5. (izda.), partiendo de las rectas efectivas e inferior del material en valores Δk_0 se convierten a nominales de $k_{Máx}$. En la Fig.5. (centro), se fija el punto de inflexión y su pendiente se prolonga a las rectas inferior y de Paris DP. Desde el punto de Paris DP con velocidad de inicio de transición se lanza la transición hasta alcanzar a Paris TP. Como expone la Fig.5. (izda.), la senda seguirá este curso hasta inicio de efectos aceleradores en k_c . Desde ese valor en adelante los datos de velocidad serán ponderados según la relación $k_{Máx}/k_c$. Aplicaciones de este procedimiento se muestran en la Fig.6. (izda.), sobre AA7075-T6 con R=0 y espesor que no desarrolla Paris de DP, y en la Fig.6. (dcha.) sobre AA2024-T351 y dos casos: R=0.1 y R=0.7.

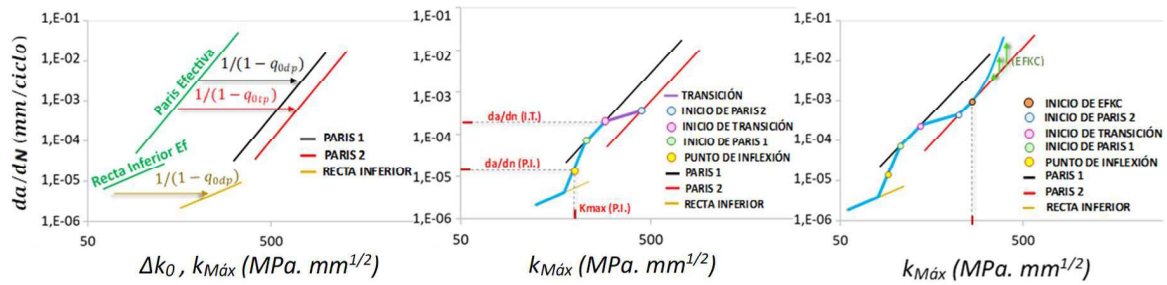


Figura 5. Etapas en el procedimiento de generación de registros de CA desde la recta base del material. Conversión a $k_{Máx}$ (izda), aplicación de puntos singulares y transición (centro) y afectación por k_c (dcha.).

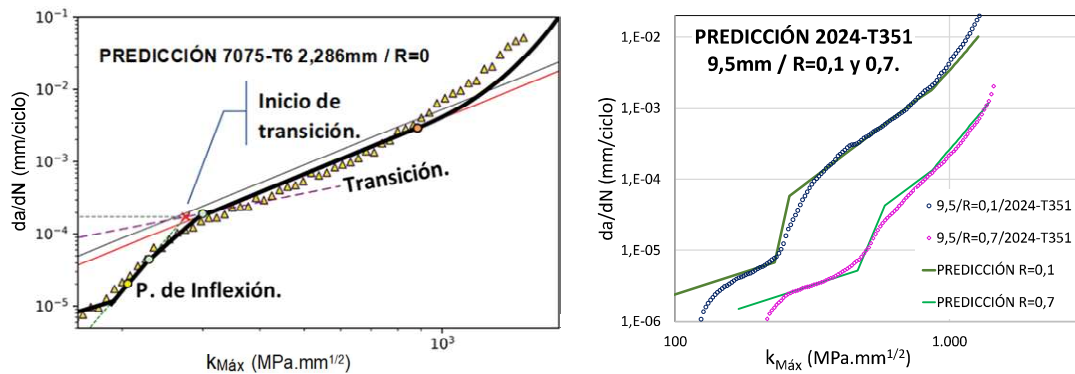


Figura 6. Ejemplos de aplicación del generador de registros a varias aleaciones, R y espesores.

3. CONCLUSIONES

Se ha incluido también la aplicación del método a AA7050. Las modificaciones incluidas han ampliado las posibilidades de generación de registros a espesores inferiores a los planteados inicialmente. Adaptar los “ α ” a cada aleación, respecto a los teóricos de partida (1.73 para DP y 1.0 para TP) ha mejorado el agrupamiento de test en valores efectivos Δk_0 y la representatividad de la curva base.

REFERENCIAS

- [1] Martín, A., (2016). Análisis comparativo de modelos strip-yield en crecimiento de grietas por fatiga aleatoria (PhD. Tesis). Málaga: Universidad de Málaga.
- [2] Zúñiga, R., Martín, A., Moreno, B., López-Crespo, P., Pedraza, C. (2018). Estimación del crecimiento de grietas desde valores efectivos de Δk : procedimiento de los puntos singulares aplicado a Al 2024 y Al 7075. Anales de Mecánica de Fractura, 35, 358-363.
- [3] Wanhill, R.J.H. (1988). Low Stress Intensity Fatigue Crack Growth in 2024-T3 and T351. Engineering Fracture Mechanics, 30, 233-260.
- [4] Newman Jr J.C. (1984). A crack-opening stress equation for fatigue crack growth. International Journal of Fracture, 24, 131-135.
- [5] Donald, J.K., Paris, P.C. (1999). An evaluation of ΔK_{eff} estimation procedures on 6061-T6 and 2024-T3 aluminium alloys. International Journal of Fatigue, 19, 47-57.