

## **CAPÍTULO 8.**

### **CONCLUSIONES**

---

La fabricación de tubo de escape, en este caso particular, involucra diferentes procesos como se ha expuesto en este trabajo. Cada proceso impacta, en mayor o menor grado, la microestructura del material. El análisis metalográfico efectuado, expone el grado de afectación al producto y la evolución de la microestructura, desde el material inicial hasta el producto terminado.

Los objetivos y alcances previstos al inicio del proyecto, fueron alcanzados en su totalidad. Se recopiló información de la tira de acero inoxidable (Capítulo 3), del mismo modo, se obtuvieron y se observaron las microestructuras de cada una de las piezas estudiadas (Capítulos 3, 4, 5 y 6). Se presenta el análisis a los cambios microestructurales resultantes del proceso de fabricación el cual es el objetivo general de este trabajo (Capítulo 7) permitiendo conocer el estado del material en cada una de las etapas de fabricación.

Este documento presenta la evidencia de las microestructuras observadas en cada etapa del proceso a través del análisis metalográfico. Para cada etapa del proceso de fabricación, el documento presenta imágenes representativas de las micrografías y las interpretaciones respectivas. El documento redacta el informe de los cambios microestructurales del material a lo largo del proceso y presenta las conclusiones obtenidas del análisis metalográfico. A continuación se presentan algunos puntos generales generados durante la investigación.

Mediante el análisis metalográfico se ha observado que existen cambios microestructurales que, consecuentemente, afectan las propiedades del material. Se detectó que el proceso más crítico para la microestructura es el hidroformado, al generar las modificaciones más severas a la microestructura en todo el proceso, además de originar zonas con diferentes microestructuras en la misma pieza. El macroataque efectuado a la pieza hidroformada, revela las líneas de flujo del material y respalda lo observado en las metalografías de secciones específicas, al poner en relieve la localización de las zonas más afectadas por la deformación.

Por otro lado, se efectuó un análisis de los espesores de la pieza. Idealmente, el hidroformado permite obtener un espesor uniforme en toda la pieza; sin embargo, experimentalmente se observó que esta condición no se cumple en este proceso. Mediante la medición y el análisis de los espesores obtenidos antes y después del hidroformado (ver tabla 5.1), fue posible hacer el análisis del valor “r” y se define que la formabilidad de la pieza es buena, pues las muestras estudiadas (ver tabla 5.2) presentan valores mayores o cercanos a uno. Se debe mencionar que los valores “r” obtenidos no se analizan en la zona de la protuberancia de la pieza, debido a que su cálculo implica mayores consideraciones. Existen algunas otras condiciones ideales para las piezas bajo este proceso. Experimentalmente, observamos una ubicación diferente para la muestra C, debido a una variación en la colocación de la pieza durante el proceso de hidroformado. Sin embargo, esta pieza, de acuerdo con los criterios de calidad, se trata de una pieza conforme, aunque no satisface la condición ideal para la ubicación de la soldadura.

El objetivo del tratamiento térmico es homogeneizar la microestructura de la pieza, sin embargo, las metalografías revelan que esto no se consigue de manera satisfactoria,

aunque de acuerdo con los valores marcados como verificables en la especificación (dureza y aspectos visuales) las piezas estudiadas cumplen con los requerimientos. Un incremento en la efectividad del tratamiento térmico podría mejorar de manera significativa el objetivo del tratamiento térmico al conseguir para la pieza final, una microestructura similar a la del material inicial. Una revisión de los parámetros de proceso empleados durante el tratamiento térmico es una recomendación evidente de los resultados obtenidos del estudio metalográfico. Dicha revisión y una consecuente reestructuración de variables como temperatura, tiempo y composición de la atmósfera controlada, queda fuera de los alcances de este trabajo; sin embargo, el trabajo efectuado sí representa una referencia que define el estado actual del producto terminado y, por tanto, una base contra la cual evaluar el proceso. Las evaluaciones en las propiedades mecánicas de la pieza a lo largo del proceso, tales como dureza y ductilidad, constituye otra afirmación de las características microestructurales observadas en las muestras y permite evaluar la homogeneidad entre distintas secciones de la pieza en un mismo proceso.

Por otro lado, variantes en la técnica de hidroformado, como hidroformado con contrapresión en la producción de esta pieza, pueden ser evaluados tomando como referencia este estudio. Se recomienda que la evaluación del proyecto de introducción de la variante de hidroformado con contrapresión considere las zonas de deformación críticas presentadas en este documento. Lo anterior, permitirá establecer comparaciones entre ambos procesos con el objetivo de determinar el costo-beneficio de una modificación al proceso. Este documento presenta información útil tanto para evaluar modificaciones sutiles al proceso actual como para evaluar modificaciones más radicales. Representa, por tanto, un elemento base en la toma de decisiones para los coordinadores del proceso.