



Universidad Nacional de San Luis

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

***OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FORJADO EN
CALIENTE DE UNA PIEZA DE TREN DELANTERO
(AUTOMOCIÓN)***

Autor: ESTEBAN GABRIEL PAZ SAAVEDRA

Carrera: Trabajo Final de Ingeniería Electromecánica

Director: Ing. Ponce, Edward Roger

Codirector Técnico: Ing. Jofre, Javier Edgardo

Villa Mercedes, San Luis

2024

DERECHO DE AUTOR

©2024. ESTEBAN GABRIEL PAZ SAAVEDRA

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

A mi familia, pilar fundamental de la vida, por la larga espera y el incansable apoyo durante tantos años.

Por cada consejo, por cada reto, por cada rezo, por cada vez que me ayudaron a levantarme, y un sin fin de cosas más en las que estuvieron presentes de un modo u otro para acompañarme a llegar al fin de esta hermosa etapa y convertir este título en una realidad.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa CRAFMSA, formadora en la práctica desde el año 2011 de mi perfil como futuro Ingeniero. Por permitirme plasmar en este trabajo uno de los tantos problemas técnicos que buscamos resolver a diario, en post de la mejora de los procesos de Forja.

A mi director, Ing. Roger Ponce por la guía profesional para la realización y presentación de este trabajo. Por aportar desde su experiencia en Forja y en la docencia, los conceptos necesarios para que este trabajo final sea una realidad.

A mi codirector técnico y compañero de trabajo, Ing. Javier Jofré, por su ayuda para mostrar los datos de la empresa, (los cuales escribimos un sin finde veces en un pizarrón), con la mayor claridad posible.

Por último, y no por ello menos importante, a la “educación pública, gratuita y de calidad” otorgada por la Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. Porque soy consciente que habiendo sido de otro modo, principalmente en lo “gratuito”, difícilmente hubiese podido cursar una carrera universitaria, y concretar este sueño de ser graduado como Ingeniero Electromecánico. Anhele devolver con creces lo que esta institución me ha otorgado.

RESUMEN

El presente trabajo corresponde al Trabajo Final del alumno Esteban Gabriel PAZ SAAVEDRA, para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, expedido por la Universidad Nacional de San Luis.

Este trabajo consiste en optimizar el proceso de fabricación de una pieza perteneciente al tren delantero de una camioneta marca “Toyota”, modelo “Hilux”, para sus versiones 4x4 y 4x2. Su denominación en inglés es “Knuckle Steering”, y tiene un modelo derecho y otro izquierdo, siendo ambas piezas iguales simétrica espejo una de otra. (una para la rueda delantera derecha y otra para la rueda delantera izquierda).

El mismo se realizó dentro de la planta industrial de la empresa “Compañía Regional de aceros Forjados Mercedes S.A” (CRAFMSA), ubicada en Ruta Nacional N°7 Km 698.5, de la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis.



Ilustración 1: Knuckle Steering derecho (RH). Fuente: elaboración propia

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

| | |
|---|----|
| CAPITULO 1: INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 PRESENTACION DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 3 |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 3 |
| 1.3 JUSTIFICACION | 3 |
| 1.4 ALCANCE Y LIMITES | 4 |
| 1.5 METODOLOGIA..... | 4 |
| 1.6 CRAFMSA..... | 5 |
| 1.6.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA | 5 |
| 1.6.2 MISION, VISION Y VALORES..... | 5 |
| 1.6.3 HISTORIA DE CRAFMSA..... | 6 |
| 1.6.4 INFRAESTRUCTURA..... | 7 |
| 1.6.5 LAYOUT DE LA EMPRESA..... | 8 |
| 1.6.6 SECTORES..... | 8 |
| 1.6.7 CLIENTES | 13 |
| 1.6.8 PORTFOLIO DE PRODUCTOS | 14 |
| 1.6.8 CERTIFICACIONES | 15 |
| CAPITULO 2: MARCO TEORICO | 16 |
| 2.1 INTRODUCCION AL PROCESO DE FORJADO..... | 16 |
| 2.1.1 CONCEPTOS Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES | 16 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2 CLASIFICACIONES..... | 17 |
| 2.1.2.1 SEGÚN LA TEMPERATURA DE TRABAJO | 17 |
| 2.1.2.2 SEGÚN EL GRADO EN QUE LOS DATOS RESTRINGEN EL FLUJO DEL METAL DE TRABAJO..... | 18 |
| 2.1.2.3 SEGÚN LA METODOLOGIA UTILIZADA..... | 23 |
| 2.1.3 PARTES DE UNA PIEZA FORJADA | 24 |
| 2.1.4 MATERIALES | 25 |
| 2.1.5 EQUIPOS | 27 |
| 2.1.6 PROCESOS COMPLEMENTARIOS..... | 34 |
| 2.1.6.1 CORTE | 34 |
| 2.1.6.2 CALENTAMIENTO PARA LA CONFORMACION EN CALIENTE | 35 |
| 2.1.6.3 TRATAMIENTO TERMICO | 37 |
| 2.1.6.4 GRANALLADO..... | 37 |
| 2.2 SIMULACION NUMERICA DE LOS PROCESOS DE FORJA..... | 38 |
| 2.2.1 GENERALIDADES | 38 |
| 2.2.2 TEORIA DE SIMULACION | 39 |
| 2.2.3 METODO DE ELEMENTOS FINITOS | 40 |
| 2.2.3.1 INTRODUCCION | 40 |
| 2.2.3.2 DEFINICION DEL METODO | 40 |
| 2.2.3.3 FUNCIONAMIENTO DE UN PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS | 41 |
| 2.2.4 SIMULACION DE PROCESOS DE FORJA | 42 |
| CAPITULO 3: ANALISIS Y DESARROLLO | 44 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 PROCESO ACTUAL | 44 |
| 3.1.1 KNUCKLE STEERING..... | 44 |
| 3.1.2 PROCESO PRODUCTIVO | 47 |
| 3.2 DESARROLLO DE LA MEJORA | 58 |
| 3.2.1 ESTUDIOS INICIALES..... | 59 |
| 3.2.1.1 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2524 (KNUCKLE STEERING RH)63 | |
| 3.2.1.2 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2525 (KNUCKLE STEERING LH) 67 | |
| 3.2.2 FACTORES QUE FAVORECEN AL DESGASTE DE MATRICES | 71 |
| 3.2.3 ANALISIS DE MATRICES DE FORJADO | 75 |
| 3.2.4 ACCIONES | 93 |
| CAPITULO 4: RESULTADOS..... | 100 |
| 4.1 GENERALIDADES..... | 100 |
| 4.1.1 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2524 | 100 |
| 4.1.2 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2525 | 104 |
| 4.2 PONDERACION DE LA MEJORA..... | 108 |
| 4.2.1 PIEZA 2524 | 109 |
| 4.2.2 PIEZA 2525 | 109 |
| 4.2.3 IMPACTO DE LA MEJORA EN EL MECANIZADO DE LAS MATRICES | 110 |
| 4.2.3.1 MECANIZADO DE MATRICES Y CONSUMO DE ELECTRODOS | 110 |
| 4.2.4 IMPACTO DE LA MEJORA EN EL ESFUERZO SOBRE LAS MATRICES | 111 |
| CAPITULO 5: ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL..... | 112 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| CAPITULO 6: CONCLUSIONES | 114 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 117 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Knuckle Steering derecho (RH). Fuente: elaboración propia | 1 |
| Ilustración 2: Logo de la empresa CRAFMSA. Fuente: página web | 5 |
| Ilustración 3: Línea de tiempo: Historia de la empresa. Fuente: elaboración propia. | 7 |
| Ilustración 4: Planta industrial CRAFMSA. Fuente: página web | 7 |
| Ilustración 5: Lay-out de la planta CRAFMSA. Fuente: planos empresa | 8 |
| Ilustración 6: Playa de materia prima CRAFMSA. Fuente: elaboración propia | 9 |
| Ilustración 7: listado de equipos Forja Liviana. Fuente: elaboración propia..... | 10 |
| Ilustración 8: Línea de Forjado en Frio. Fuente: elaboración propia..... | 11 |
| Ilustración 9: Martillo neumático 17600 lbs. Fuente: elaboración propia | 11 |
| Ilustración 10: Fresado CNC matriz Knuckle Steering. Fuente: elaboración propia. | 12 |
| Ilustración 11: Horno de Recocido Isotérmico / Normalizado. Fuente: elaboración propia | 12 |
| Ilustración 12: Logos de clientes CRAFMSA. Fuente: web | 13 |
| Ilustración 13: Portfolio de productos ind. Automotriz. Fuente: elaboración propia.. | 14 |
| Ilustración 14: Portfolio de productos ind. petrolera y agraria. Fuente: elaboración propia | 15 |
| Ilustración 15: Estructura de grano en una pieza forjada. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología. S.R. Schmidt, S. Kalpakjian | 16 |
| Ilustración 16: Estructura de grano en una pieza fundida. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología. S.R. Schmidt, S. Kalpakjian. | 16 |
| Ilustración 17: Forjado a dado abierto. Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna..... | 18 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 18: deformación ideal de una pieza cilíndrica en una operación con dado abierto. 1) inicio de proceso; 2) compresión parcial; 3) tamaño final. Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna | 19 |
| Ilustración 19: deformación real de una pieza de trabajo cilíndrica en forjado con dado abierto, donde se observa un abarrilamiento pronunciado. 1) Inicio del proceso; 2) Deformación parcial; 3) Forma Final. Fuente: Fundamentos de manufactura moderna..... | 20 |
| Ilustración 20: Secuencia de Forjado con estampas. Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna. | 21 |
| Ilustración 21: Secuencia de forjado sin rebaba en 3 pasos. Fuente: Fundamentos de manufactura moderna. | 22 |
| Ilustración 22: Características generales de los procesos de forjado. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología..... | 23 |
| Ilustración 23: partes de una pieza forjada. Fuente: Practica Industrial de la forja en caliente..... | 24 |
| Ilustración 24: Temperaturas de conformación de aceros al carbono. Fuente: Practica Industrial de la forja en caliente | 26 |
| Ilustración 25: Tipos de equipos de Forjado: Fuente: elaboración propia..... | 28 |
| Ilustración 26: Martillo con elevacion por correas. Fuente: ASM Handbook..... | 29 |
| Ilustración 27: Principales componentes de una prensa hidráulica. Fuente: ASM Handbook..... | 30 |
| Ilustración 28: Prensa a tornillo. Fuente: web | 31 |
| Ilustración 29: Representación de una prensa mecánica. Fuente: Practica Industrial de la forja en caliente. | 33 |
| Ilustración 30: Esquema de Prensa Mecánica: Fuente: Presentación de conformado plástico de metales..... | 33 |
| Ilustración 31: Toyota Hilux. Fuente: web | 44 |
| Ilustración 32: partes de tren delantero derecho Toyota Hilux. Fuente: elaboración propia..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 33: Knuckle Sterring derecho-izquierdo (mecanizado y pintado). Fuente: web. | 45 |
| Ilustración 34: Despiece tren delantero Toyota Hilux, con una flecha roja se indica el componente en cuestión. Fuente: web. | 46 |
| Ilustración 35: Plano Knuckle RH. El modelo LH es simétrico espejo al mostrado. Fuente: elaboración propia. | 46 |
| Ilustración 36: Especificación de material Knuckle Steering RH/LH. Fuente: laboratorio metalúrgico CRAFMSA. | 48 |
| Ilustración 37: Sierra a disco destinada a corte de material para Knuckle Steering. Fuente: elaboración propia. | 49 |
| Ilustración 38: Proceso de Rolado. Fuente: elaboración propia. | 50 |
| Ilustración 39: Secuencia de rolado 1er a 4to paso. Fuente: elaboración propia. | 50 |
| Ilustración 40: Forjado en prensa de 4000 tns. Fuente: elaboración propia. | 51 |
| Ilustración 41: Secuencia de Aplastado. Fuente: elaboración propia. | 51 |
| Ilustración 42: Secuencia de preformado: Fuente: elaboración propia. | 52 |
| Ilustración 43: Secuencia de Final: Fuente: elaboración propia. | 53 |
| Ilustración 44: Conjunto armado de pasos en prensa de 4000 tns. Fuente: elaboración propia. | 54 |
| Ilustración 45: etapa de rebabado-punzonado en prensa auxiliar. Fuente: elaboración propia. | 54 |
| Ilustración 46: Pieza rebabada y punzonada (derecha). Descartes de rebaba y punzón. Fuente: elaboración propia. | 55 |
| Ilustración 47: Acuñaado en caliente en prensa auxiliar. Fuente: elaboración propia. | 55 |
| Ilustración 48: Cinta de enfriamiento al aire calmo. Fuente: elaboración propia. | 56 |
| Ilustración 49: Piezas dispuestas en sistema de "perchas" previo al ingreso a granalladora. Fuente: elaboración propia. | 57 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 50: Pieza en proceso de inspección por partículas magnetizables. Fuente: elaboración propia..... | 58 |
| Ilustración 51: Piezas en contenedor dedicado provisto por el cliente final. Fuente: elaboración propia..... | 58 |
| Ilustración 52: Matriz inferior de preformado para Knuckle Steering LH (pieza 2525). Fuente: elaboración propia..... | 59 |
| Ilustración 53: Conjunto de marices armadas en portamatriz (inferior). Fuente: elaboración propia..... | 60 |
| Ilustración 54: Extracto de plano Knuckle Steering, donde se muestra la zona en estudio con un círculo rojo. Fuente: elaboración propia..... | 62 |
| Ilustración 55: Resumen de producciones pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA. | 63 |
| Ilustración 56: Grafico de torta con resumen de producciones de pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 64 |
| Ilustración 57: Resumen de paradas de maquina pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA..... | 65 |
| Ilustración 58: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 65 |
| Ilustración 59: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 66 |
| Ilustración 60: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA..... | 66 |
| Ilustración 61: Diagrama de Pareto horas de parada de maquina por código del sector matricería pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 67 |
| Ilustración 62: Resumen de producciones pieza 2525, año 201. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA..... | 68 |
| Ilustración 63: Grafico de torta con resumen de producciones pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 68 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 64: Resumen de paradas de máquina, pieza 2525, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA..... | 69 |
| Ilustración 65: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 69 |
| Ilustración 66: Diagrama de Pareto horas de parada por sector, pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 70 |
| Ilustración 67: Resumen de horas de parada por códigos del sector matricería, pieza 2525, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA..... | 70 |
| Ilustración 68: Diagrama de Pareto con horas de parada por códigos de matriceria, pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia..... | 71 |
| Ilustración 69: Esfuerzo "ideal" Prensa de 4000 tns en etapa de preformado. Fuente: simulador 3D..... | 73 |
| Ilustración 70: Esfuerzo "no ideal" Prensa de 4000 tns con regulación de maquina 0.5 mm en etapa de preformado. Fuente: simulador 3D..... | 73 |
| Ilustración 71: Disposición de rolos en roladora "EUMUCO RW2". Vista en corte. Fuente: elaboración propia..... | 76 |
| Ilustración 72: Cuadro de diálogo del simulador de forja 3D. Fuente: elaboración propia tomada de software de simulación..... | 76 |
| Ilustración 73: Secuencia de 1er paso de rolado. Fuente: elaboración propia..... | 77 |
| Ilustración 74: Secuencia de 2do paso de rolado. Fuente: elaboración propia..... | 77 |
| Ilustración 75: Secuencia de 3er paso de rolado. Fuente: elaboración propia..... | 78 |
| Ilustración 76: Secuencia de 4to paso de rolado. Fuente: elaboración propia..... | 78 |
| Ilustración 77: Secuencia real obtenido por rolado 1er a 4to paso (de izq. a der.). Fuente: elaboración propia..... | 79 |
| Ilustración 78: Esquema de matrices de aplastado inferior (1) y superior (2). Fuente: planos CRAFMSA..... | 80 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 79: cuadro de dialogo del simulador 3D para seleccionar el tipo de forja. Fuente: elaboración propia obtenida de software 3D..... | 81 |
| Ilustración 80: Cuadro de dialogo de software de simulación 3D para el tipo de proceso “Upsetting” del modulo "HOT FORMING". Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D. | 81 |
| Ilustración 81: Resultados de simulación 3D del paso de "aplastado". Fuente: elaboración propia..... | 82 |
| Ilustración 82: Cuadro de dialogo de software de simulación 3D para el tipo de proceso “Forging” del modulo "HOT FORMING". Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D. | 83 |
| Ilustración 83: Resultados de simulación 3D del paso de "preformado". Fuente: elaboración propia..... | 83 |
| Ilustración 84: Flujo de material en etapa de preformado (vista en planta). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D..... | 84 |
| Ilustración 85: Flujo de material en etapa de preformado (vista en perspectiva). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D. | 85 |
| Ilustración 86: Desgaste de matriz inferior de preformado por ciclo de trabajo. Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D..... | 86 |
| Ilustración 87: Desgaste real de una matriz inferior de preformado. Fuente: elaboración propia..... | 87 |
| Ilustración 88: Desgaste de matriz superior de preformado por ciclo de trabajo. Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D..... | 88 |
| Ilustración 89: Desgaste de matriz inferior de preformado por ciclo de trabajo en zona de estudio (A). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D. | 89 |
| Ilustración 90: Desgaste real de matriz superior de preformado. Fuente: elaboración propia..... | 90 |
| Ilustración 91: Marcas de desgaste en secuencia de preformado de pieza 2525. Fuente: elaboración propia..... | 91 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 92: Marcas de desgaste en secuencia de preformado de pieza 2525. Fuente: elaboración propia..... | 91 |
| Ilustración 93: Resultados de simulación 3D del paso de "final". Fuente: elaboración propia..... | 92 |
| Ilustración 94: Pliegue (solapamiento de material) detectado en control por partículas magnetizables. Esta pieza está en condición "NO OK". Fuente: elaboración propia. | 93 |
| Ilustración 95: Representación de soldadura con electrodo "STELLITE". Fuente: catalogo Kennametal..... | 95 |
| Ilustración 96: Composición química y características electrodo "STELLITE 21". Fuente: catalogo Kennametal..... | 96 |
| Ilustración 97: Modificación en plano 2D CRAFTMSA de matrices de preformado bajo cambio "H". Fuente: planos CRAFTMSA..... | 97 |
| Ilustración 98: Modificación en solido 3D de matrices de preformado. En color rojo se observa la zona destinada al aporte de electrodo Stellite 21. Fuente: elaboración propia obtenida de software de diseño..... | 97 |
| Ilustración 99: Mecanizado por fresa CNC en matrices de preformado, zona de brazo corto. Fuente: elaboración propia..... | 98 |
| Ilustración 100: Aporte de soldadura con electrodo Stellite 21 en matriz superior de preformado de pieza 2524. Fuente: elaboración propia..... | 98 |
| Ilustración 101: Mecanizado final en zona de aporte con electrodo Stellite 21. Matriz inferior (izq.) y matriz superior (der.). Fuente: elaboración propia..... | 99 |
| Ilustración 102: Resumen de producciones pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTMSA. | 100 |
| Ilustración 103: Grafico de torta con resumen de producciones de pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia. | 101 |
| Ilustración 104: Resumen de paradas de maquina pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTMSA. | 101 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 105: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia..... | 102 |
| Ilustración 106: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia..... | 103 |
| Ilustración 107: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA. | 103 |
| Ilustración 108: Diagrama de Pareto horas de parada de maquina por código del sector matricería pieza 2524, marzo a diciembre 2022. Fuente: elaboración propia..... | 104 |
| Ilustración 109: Resumen de producciones pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA. | 105 |
| Ilustración 110: Grafico de torta con resumen de producciones de pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia. | 105 |
| Ilustración 111: Resumen de paradas de maquina pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA. | 106 |
| Ilustración 112: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia..... | 106 |
| Ilustración 113: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia..... | 107 |
| Ilustración 114: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA. | 107 |
| Ilustración 115: Diagrama de Pareto horas de parada de maquina por código del sector matricería pieza 2525, marzo a diciembre 2022. Fuente: elaboración propia..... | 108 |
| Ilustración 116: Reducción de paradas de maquina por código 260 (ajuste de matriz) pieza 2524. Año 2022 Vs 2021. Fuente: elaboración propia..... | 109 |
| Ilustración 117: Ganancia en cantidad de piezas por reducción de código 260 (ajuste de matriz) pieza 2524. Año 2022. Fuente: elaboración propia..... | 109 |

Ilustración 118: Reducción de paradas de maquina por código 260 (ajuste de matriz) pieza 2525. Año 2022 Vs 2021. Fuente: elaboración propia.....109

Ilustración 119: Ganancia en cantidad de piezas por reducción de código 260 (ajuste de matriz) pieza 2525. Año 2022. Fuente: elaboración propia.....110

Ilustración 120: % de aumento en el costo de la pieza por mecanizado de alojamiento y aporte con electrodo. Fuente: elaboración propia.....111

CAPITULO 1: INTRODUCCION

Cada vez que sea necesario construir una pieza cuyo destino se encuentra directamente relacionado con la seguridad, los técnicos e ingenieros que tienen a cargo su diseño y fabricación consideraran sin dudar, en recurrir a las bondades de una pieza forjada. El forjado produce a igualdad de volumen de una pieza fundida, una resistencia mecánica muy superior debido a las “fibras” que el material adquiere durante su deformación. Dicho de otro modo, dada una pieza forjada y una fundida, para ser usadas en el mismo destino, la pieza forjada se puede fabricar de menor volumen, logrando la misma resistencia. Esta característica genera una ventaja adicional, dado que, aplicando el proceso de Forja, se produce un ahorro significativo de material.

En Argentina, la industria nacional del forjado abastece en condiciones de calidad, capacidad y precios, el conjunto de los requerimientos internos de los usuarios de productos forjados de los principales sectores de la industria, entre ellos el automotriz.

La optimización del proceso de una pieza forjada presentada en este trabajo detalla el análisis, propuesta y mejora para disminuir las paradas de maquina por ajuste de moldes, evitar Scrap y aumentar la productividad de la línea de trabajo.

En este trabajo se describen las actividades llevadas a cabo por el departamento de ingeniería de producto de la empresa CRAFTMSA, para alcanzar el objetivo establecido.

1.1 PRESENTACION DEL PROBLEMA

La pieza por optimizar se produce en una línea de forjado en caliente de 4000 toneladas cuyo proceso comprende las siguientes etapas:

- 1) Recepción de Materia prima (Acero micro aleado)
- 2) Corte de Materia prima
- 3) Calentamiento en Horno de Inducción
- 4) Rolado en 4 pasos secuenciales
- 5) Forjado en 3 pasos secuenciales (Aplastado, Preforma y Final), en prensa principal de 4000 toneladas

- 6) Rebabado, Punzonado y acuñado en caliente, en prensa auxiliar de 400 toneladas.
- 7) Enfriamiento controlado al aire calmo, en cinta de enfriamiento.
- 8) Granallado
- 9) Inspección por partículas magnetizables + Inspección Visual
- 10) Almacenamiento en contenedor dedicado
- 11) Despacho al cliente

Este trabajo se focaliza en la etapa "5", donde se produce el proceso de deformación progresiva y secuencial de la pieza mencionada.

La pieza en cuestión tiene un alto consumo mensual por parte del cliente Toyota, quien fabrica un total de 800 vehículos/día de lunes a viernes. Esto implica el consumo de 1600 juegos por día (800 derechos y 800 izquierdos), siendo CRAFMSA proveedor único de este producto.

Este proceso es de una complejidad avanzada, dado que es una pieza con un volumen muy asimétrico, de gran longitud y gran porte.

La etapa de forjado parte de un tocho de acero de sección cuadrada y longitud definida, previamente calentado, el cual se irá moldeando gradualmente para lograr la pieza final.

El forjado en caliente es un proceso de tipo "abrasivo", que produce desgastes en los moldes; esto obliga a realizar, durante el proceso, paradas programadas para ajustes de estos. De no ser así, cualquier defecto o inestabilidad que se produzca en ellos se trasladará a la pieza, generando Scrap (desecho) de proceso por pliegue (solapamientos de material incrustados en la pieza que generan su descarte).

También se presentan esfuerzos (resistencia a la deformación) durante el llenado del molde, el cual debe diseñarse de forma tal que no supere su límite de fluencia. La propuesta de mejora a desarrollar detallará los procedimientos empleados para disminuir estos esfuerzos, como así también evitar los sobrecostos por roturas de moldes y disminución de la productividad por paradas de máquina para ajuste

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de forjado en caliente de una pieza de tren delantero

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Abordar conceptos teóricos de cada etapa del proceso.
- Investigar y analizar específicamente las etapas donde se origina el problema a que hace referencia este trabajo (preformado)
- Mostrar breves conceptos teóricos referentes al “Método de elementos finitos” utilizados en la simulación computacional de la etapa del proceso analizada.
- Mostrar las formas y usos de un software de simulación computacional aplicado a una deformación en caliente de metales.
- Evitar rotura de moldes por sobreesfuerzo
- Aumentar la vida útil de moldes de 7000 a 8000 piezas
- Reducir la abrasión de los moldes en la zona de alta fluencia
- Reducir el Scrap por pliegue (solapamiento de material)
- Reducir el tiempo de paradas de maquina por ajuste de moldes
- Aumentar la productividad de la línea de trabajo

1.3 JUSTIFICACION

En primer lugar, este trabajo forma parte de la experiencia del autor como miembro del departamento de ingeniería de producto de la empresa CRAFMSA.

La pieza sobre la que se trabaja es de un alto volumen de producción, comprendiendo aproximadamente el 85% de la producción de la línea en la cual se fabrica. Esto hace que sea considerada como “critica” por la empresa. Además, se logra un aprovechamiento del 15% restante de la capacidad disponible, para la fabricación de piezas para otros clientes.

La complejidad geométrica implica que constantemente se estén analizando mejoras sobre el proceso, buscando una reducción de costos y optimizar el tiempo de entrega.

A modo de conclusión, el trabajo final contará con todos los ítems necesarios, para definir si las mejoras propuestas junto con su monto de inversión para la modificación de los moldes, la mejora estimada, su valoración, analizar el periodo de repago, junto a la reducción del Scrap de producto, vida útil de moldes y productividad etc. justifican el monto de inversión solicitado.

1.4 ALCANCE Y LIMITES

El alcance del proyecto abarca desde el proceso de “Preforma” hasta la etapa “Final” quedando fuera del análisis todas las etapas anteriores y posteriores, sobre las cuales solo se efectuarán breves explicaciones y referencias a fin de brindar mayor entendimiento al proceso completo de la pieza.

El estudio de esta parte del proceso se realiza mediante el soporte brindado por sectores adyacentes (Matricería, Producción, Ingeniería de Procesos, Calidad, Mantenimiento), profundizando el análisis y desarrollo de las mejoras desde el Departamento de Ingeniería de Producto. En consecuencia, abarcará la modificación de los moldes que intervienen en el proceso, y su correspondiente análisis bajo simulación 3D, todo ello asistido mediante software. Posteriormente, dichas modificaciones fueron entregadas al sector encargado de la construcción y/o modificación de los moldes. En este punto, el presente trabajo no profundizará en las metodologías específicas de dicho sector, definiendo de este modo el límite.

1.5 METODOLOGIA

La metodología empleada para llevar a cabo el Trabajo Final será la siguiente:

- 1) Recolección de información necesaria para el desarrollo del proyecto. (a través de los datos propios de la gestión diaria de la empresa)
- 2) Descripción y justificación del problema
- 3) Desarrollo de estudio técnico de las mejoras propuestas
- 4) Modificar los elementos que intervienen en el proceso con un software de modelado CAD.
- 5) Evaluar en Simulador de Forja en caliente (3D) las condiciones que inciden en las fallas, como así también las mejoras propuestas y comparar.
- 6) Desarrollo de estudio económico en función de las mejoras propuestas. (comparación antes / después teniendo en cuenta la inversión)

1.6 CRAFMSA

1.6.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

Compañía Regional de Aceros Forjados Mercedes S.A. (CRAFMSA) es una empresa consolidada en el complejo y competitivo mercado globalizado de la Industria Automotriz como el principal proveedor de piezas forjadas en la Región. Abastece también a la Industria del Petróleo y del Agro.

Es la compañía de forja más importante de la Argentina y esta categorizada como MiPyME industrial tramo 1.

CRAFMSA es proveedor esencial de la cadena de valor de las principales automotrices del país: Toyota, Volkswagen, Scania y Dana/Ford.

Además, es exportador directo a Renault Chile (“Horse” ex Cormecanica”)

El 90% de su producción es exportada directamente y a través de las terminales automotrices argentinas a países del MERCOSUR, NAFTA, UNION EUROPEA y AFRICA. Cuenta con todas las certificaciones que exigen sus clientes, tales como ISO 9001, ISO 14001, ISO TS 16949.

Actualmente posee una dotación de 370 empleados en total, el personal operativo se distribuye en 3 turnos de 8 horas cada uno.



Ilustración 2: Logo de la empresa CRAFMSA. Fuente: página web

1.6.2 MISION, VISION Y VALORES

La empresa tiene como misión: *“Consolidarse como una forja líder en el Mercosur y aumentar la participación internacional”*

Además, posee la siguiente visión: *“Brindar a los clientes servicios y productos de calidad a un precio justo creando valor para sus accionistas, colaboradores, clientes, comunidad, proveedores y medio ambiente a través de una gestión basada en procesos sustentables”*.

En cuanto a los valores, se destacan:

- Orientación al cliente.
- Actuar con principios éticos.
- Priorizar la calidad.
- Asegurar competitividad.
- Vocación de servicio.
- Trabajo en equipo.
- Fuerte compromiso con los acuerdos.
- Desarrollo sustentable.
- Proyectos asociativos.
- Responsabilidad social y con el medio ambiente.

1.6.3 HISTORIA DE CRAFMSA

Su historia comienza en 1957, cuando Industrias Kaiser Argentina (IKA) decide invertir en una máquina de forja en su planta en la ciudad de Córdoba y dos años más tarde comienza a operar dicha maquinaria.

En 1969 Renault adquiere el 100% de IKA adquiriendo también la planta de forjado. En 1979 Renault absorbe Crafmsa como parte de su plan de expansión y concentra gradualmente sus operaciones en esta planta hasta 1989.

En 1992, el grupo Gamesa de España adquiere la totalidad del paquete accionario de Crafmsa a Renault. Siete años más tarde, el grupo español se asocia con Mondragón Corporación Cooperativa (MCC) y conforman el Grupo Promoauto.

El grupo se mantiene hasta 2002 cuando los socios toman la decisión estratégica de discontinuar sus operaciones en el sector automotriz en España, Brasil y Argentina. Como consecuencia, en 2003 venden la Compañía al Grupo Taurus y a directivos de esta.

En octubre de 2013, en medio de una profunda crisis financiera producto de la recesión mundial de la industria automotriz, el Grupo Rovella Carranza adquiere el 100% de la Compañía.

Hoy por hoy, con un enfoque centrado en la Calidad Total y en la satisfacción al cliente, la empresa busca aumentar la productividad y eficiencia de sus procesos con el objetivo de lograr ser la forja más grande de Latinoamérica.

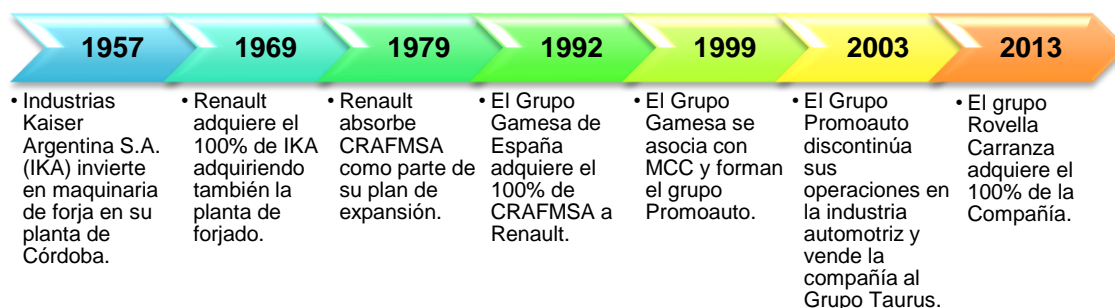


Ilustración 3: Línea de tiempo: Historia de la empresa. Fuente: elaboración propia

1.6.4 INFRAESTRUCTURA

La planta industrial está radicada en la ciudad de Villa Mercedes, provincia de San Luis, en un área de 256.000 m². Sus instalaciones industriales comprenden 12.400 m² y albergan un parque de equipos capaces de producir 41.000 toneladas/año de piezas forjadas en caliente en un rango de 0,2 a 200 Kg por unidad en cualquier tipo de materia prima forjable; y 4.000 toneladas/año de ejes primarios y secundarios para cajas de velocidad obtenidas por extrusión en frío.



Ilustración 4: Planta industrial CRAFMSA. Fuente: página web

1.6.5 LAYOUT DE LA EMPRESA

A continuación, se muestra la distribución de la planta en la cual se muestran las diferentes naves que la conforman. En cada una de ellas se realiza uno de los distintos procesos que intervienen en la fabricación de una pieza forjada.

Ésta es una distribución por procesos ya que las operaciones del mismo tipo se realizan dentro del mismo sector o nave; el material se traslada por las diferentes áreas (dependiendo de los procesos que requiera para su fabricación), hasta convertirse en pieza terminada.

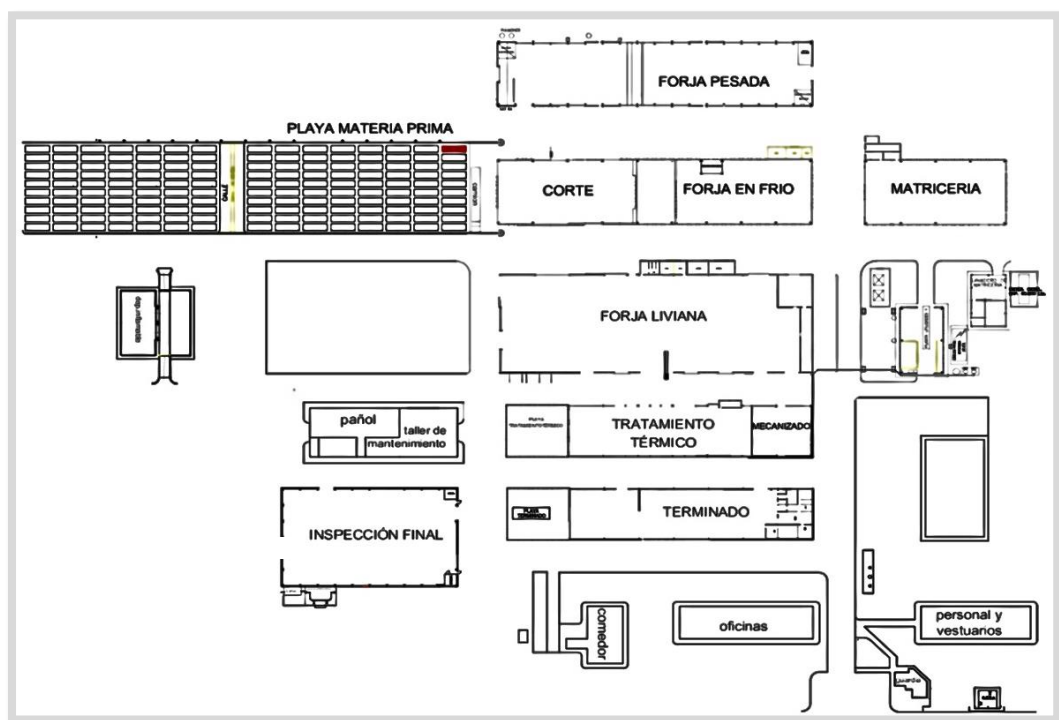


Ilustración 5: Lay-out de la planta CRAFMSA. Fuente: planos empresa

1.6.6 SECTORES

Playa de Materia Prima: Aquí se recibe y almacena la materia prima para la producción, con origen en las principales acerías del Mercosur y en las variadas calidades específicas que requieren los clientes.

La materia prima viene en forma de barras de acero de secciones cuadradas y circulares de variados diámetros. Las barras son ordenadas dentro de la playa de acuerdo a la calidad, sección y rotación.



Ilustración 6: Playa de materia prima CRAFMSA. Fuente: elaboración propia

Corte: En esta nave se realiza el corte de la materia prima destinada al forjado y a la construcción de matrices, su equipamiento consta de guillotinas y sierras.

Forja Liviana: en esta nave se realiza el forjado en caliente de piezas cuyo peso varía entre 0,2 y 7 Kg aproximadamente. Cuenta con 12 prensas mecánicas y de tornillo con capacidades que van de 400 a 4.000 toneladas y una forjadora de rodillo que se encarga del preformado de las piezas más complejas.

El calentamiento de los trozos cortados se realiza a través de hornos de inducción colocados en línea con las prensas. Además, cada prensa principal está acoplada con una auxiliar que se encarga del rebabado de las piezas.

La capacidad instalada de la Forja Liviana permite forjar hasta 27.500 Tn/año.

| | EQUIPO | MARCA | MODELO |
|----|---------------------------|--------------------|-------------|
| 1 | Prensa de Tornillo 600 TN | WEINGARTEN | PSS-300 |
| 2 | Prensa Mecánica 1100 TN | CLEARING-INNOCENTI | EF 11000-30 |
| 3 | Prensa Mecánica 1300 TN | NATIONAL-MAXIPRESS | P-180-3 |
| 4 | Prensa Mecánica 1600 TN | CLEARING-INNOCENTI | EF 11600 |
| 5 | Prensa Mecánica 2000 TN | EUMUCO | SP 200 |
| 6 | Prensa Mecánica 2500 TN | ERFURT | PKXWa 2500 |
| 7 | Prensa Mecánica 4000 TN | SMERAL | LZK 4000 |
| 8 | Prensa Mecánica 1180 TN | NATIONAL-MAXIPRESS | P-180-3 |
| 9 | Prensa de Tornillo 400 TN | GAMEI | PHG-200/400 |
| 10 | Prensa a Tornillo 900 TN | WEINGARTEN | 900 TN |
| 11 | Prensa Mecánica 1600 TN | ESMERAL | |
| 12 | Prensa Mecánica 1300 TN | AJAX | |

Ilustración 7: listado de equipos Forja Liviana. Fuente: elaboración propia

Forja en Frío: fue instalada en noviembre de 2002, única en Argentina para la producción de componentes para cajas de velocidad. Entre su equipamiento se encuentran sierras para el corte de la materia prima, una granalladora, una línea para el tratamiento superficial del material y una prensa hidráulica de 900 toneladas para la extrusión en frío. Además, cuenta con un sector de inspección, embalaje y despacho.



Ilustración 8: Línea de Forjado en Frio. Fuente: elaboración propia

Forja Pesada: cuenta con 3 martillos cuyas capacidades van de 12.000 a 20.000 Lbs y una recaladora de 1.600 tn, con capacidad de retopado final de hasta 6 pulgadas. El funcionamiento es asistido por 1 horno a inducción para el caso de los martillos y 1 horno a gas para el caso de la recaladora, que permiten forjar piezas de hasta 200 Kg.

La capacidad instalada de esta nave permite producir hasta 10.500 Tn/año en los martillos y 3.000 Tn/año en la recaladora, lo que hace un total de 13.500 Tn/año.



Ilustración 9: Martillo neumático 17600 lbs. Fuente: elaboración propia

Matricería: este taller está equipado con máquinas de control numérico donde se conforman las matrices que se utilizan para la fabricación de los productos de la empresa. Cuenta con una erosionadora, tornos CNC, fresadoras, y puestos de inspección dimensional.



Ilustración 10: Fresado CNC matriz Knuckle Steering. Fuente: elaboración propia

Tratamiento Térmico: los hornos del sector pueden cumplir con una amplia gama de tratamientos requeridos por los clientes. El equipamiento está compuesto por 4 hornos a gas destinados principalmente al revenido y recocido de piezas forjadas en caliente, y al temple y nitrurado de matrices.



Ilustración 11: Horno de Recocido Isotérmico / Normalizado. Fuente: elaboración propia

Terminado: dotado con 4 granalladoras, calibradoras, amoladoras y equipos para ensayo por partículas magnetizables.

Además, la empresa realiza distintos ensayos en laboratorio metalúrgico propio que cubre en todo momento el espectro solicitado por sus clientes. El personal realiza ensayos mecánicos, de dureza, micrográficos y Jominy.

Recepción del cliente (ex inspección final): en este sector se realiza la inspección visual del producto terminado para luego trasladarlo al almacén de Despacho. Está dotado con equipos de magnatest para garantizar que el 100% de los productos sean entregados con la dureza y estructura solicitada por los clientes.

1.6.7 CLIENTES



Ilustración 12: Logos de clientes CRAFTMSA. Fuente: web

1.6.8 PORTFOLIO DE PRODUCTOS

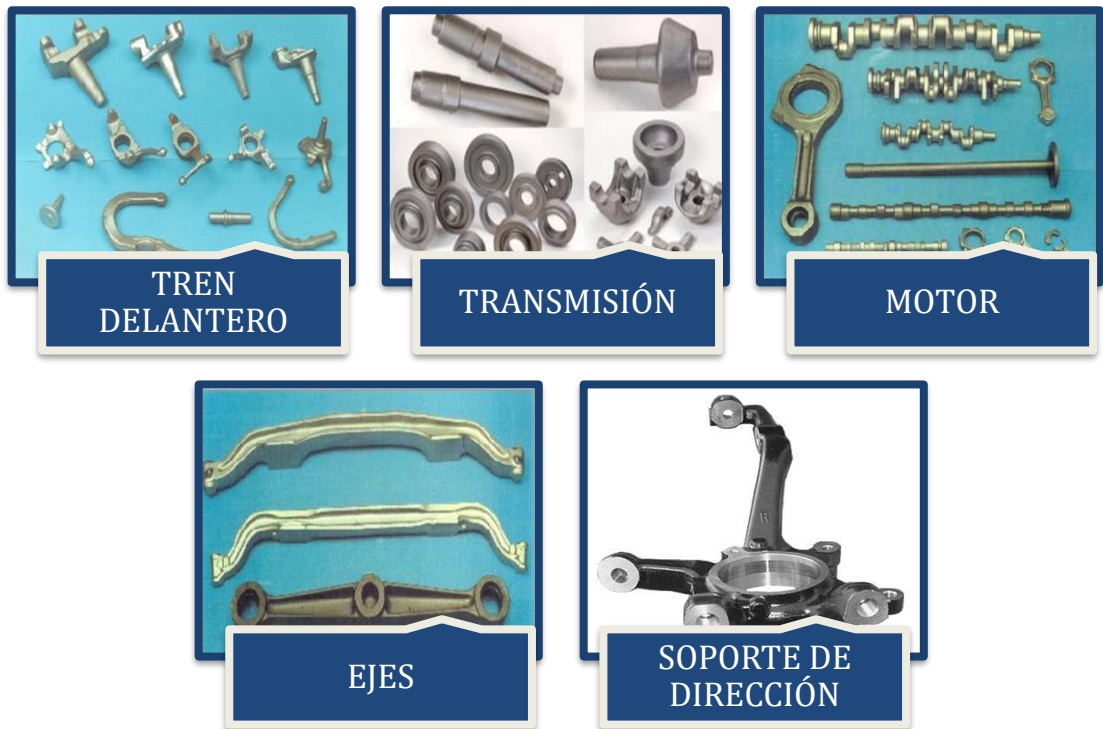


Ilustración 13: Portfolio de productos ind. Automotriz. Fuente: elaboración propia



Ilustración 14: Portfolio de productos ind. petrolera y agraria. Fuente: elaboración propia

1.6.8 CERTIFICACIONES

- ISO 9001: 2015
- ISO / TS 16949: 2016
- VW VDA 6.3 NIVEL "B"
- TOYOTA TMC: PROVEEDOR NIVEL GLOBAL
- DANA-SPICER: PROVEEDOR NIVEL GLOBAL
- RENAULT: PROVEDORES NIVEL GLOBAL

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 INTRODUCCION AL PROCESO DE FORJADO

A continuación, se describe el proceso de forjado y demás operaciones que intervienen, a fin de facilitar la comprensión del proceso productivo.

2.1.1 CONCEPTOS Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES

“El forjado es un proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos troqueles, usando impacto o presión gradual para formar la pieza. Es la operación más antigua para formado de metales y se remonta quizá al año 5000 a.C”¹

Actualmente, mediante este proceso se hacen una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones. Esto se debe, principalmente, a que el forjado produce a igualdad de volumen de una pieza fundida, una resistencia mecánica superior debido al fibrado del material.

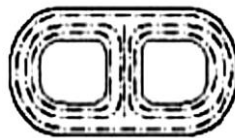


Ilustración 15: Estructura de grano en una pieza forjada. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología. S.R. Schmidt, S. Kalpakjian

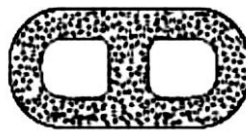


Ilustración 16: Estructura de grano en una pieza fundida. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología. S.R. Schmidt, S. Kalpakjian.

El proceso de conformado de piezas en caliente presenta los siguientes beneficios:

- Máxima resistencia mecánica
- Elimina la porosidad

¹Mikell P. Groover, 2007, Fundamentos de Manufactura Moderna, 3ra edición.

- Reduce el tamaño del grano
- Menor peso a igual resistencia
- Mínimo excedente de material
- Permite fabricar la pieza en su forma casi definitiva
- Menor tiempo de mecanizado
- Menor consumo de herramientas
- Menor costo

2.1.2 CLASIFICACIONES

El proceso de forja se puede clasificar en función de distintas características, tales como la temperatura de trabajo, el grado de separación de los dados utilizados y la metodología empleada.

2.1.2.1 SEGÚN LA TEMPERATURA DE TRABAJO

FORJADO EN CALIENTE

Se somete el material a altas temperaturas (por arriba y por debajo de la temperatura de cristalización) dada la demanda de deformación que el proceso requiere y la necesidad de aumentar su ductilidad.

El forjado en caliente se caracteriza por una resistencia a la deformación pequeña que permite la conformación plástica de piezas de mayor tamaño y complejidad con un mínimo esfuerzo y trabajo. El material por utilizar requiere de menores exigencias que el forjado en frío, pero presenta la desventaja de que es difícil observar las dimensiones previstas de la pieza, debido a que en un primer instante la temperatura es elevada. Las dimensiones del producto se toman después de una etapa de enfriamiento (generalmente forzada), aumentando los tiempos de puesta a punto o "setup" de la máquina.

Este tipo de método se aplica con mayor frecuencia. En Argentina se estima un 90% de producción por sobre el 10% de forjado en frío.

FORJADO EN FRIO

Se realiza a temperatura ambiente. Se aplica un proceso de deformación gradual, mediante un número definido de pasos, tras los cuales el material adquiere una mayor resistencia, que resulta del endurecimiento por deformación, y se obtienen

mejores resultados de precisión y acabado superficial. Requiere de una fuerza mayor y que el material de la pieza tenga a ductilidad suficiente a temperatura ambiente.

2.1.2.2 SEGÚN EL GRADO EN QUE LOS DADOS RESTRINGEN EL FLUJO DEL METAL DE TRABAJO

FORJADO EN DADO ABIERTO O FORJA LIBRE

Es el método más simple de forjado. El material se coloca entre dos matrices planas o dados, al aplicar fuerzas de compresión se reduce la altura del metal y aumenta su diámetro.

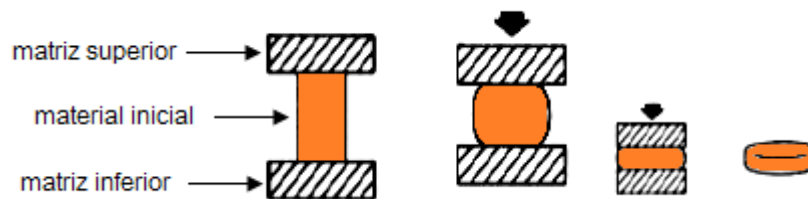


Ilustración 17: Forjado a dado abierto. Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna

Las figuras geométricas que se pueden obtener son de poca complejidad o rudimentarias y la tecnología de trabajo puede ser calificada como “artesanal”, ya que en la mayoría de los casos no cuenta con procesos automatizados y el resultado depende exclusivamente de la habilidad del operador de la máquina. Como ejemplo de piezas que pueden conformarse con este tipo de forja se encuentran hélices de navío, hélices de helicóptero, coronas, discos, anillos, etc.

Considerando el proceso como “ideal”, en el cual los coeficientes de fricción son nulos entre la pieza de trabajo y el dado o troquel, la deformación resultante será homogénea, atendiendo a la siguiente ecuación

$$\epsilon = \ln \frac{h_0}{h}$$

Donde: h_0 = altura inicial de la pieza; h = altura en su punto medio; y h_f = altura final en la que la deformación alcanza su máxima valor.

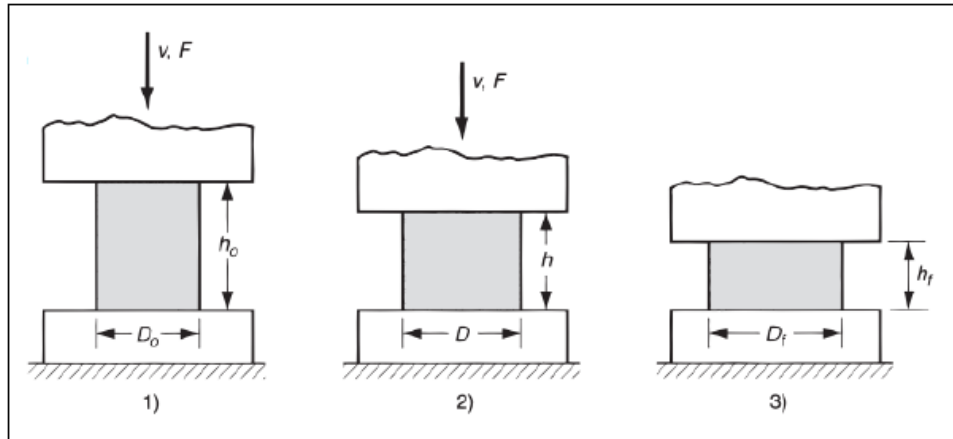


Ilustración 18: deformación ideal de una pieza cilíndrica en una operación con dado abierto.
 1) inicio de proceso; 2) compresión parcial; 3) tamaño final. Fuente: Fundamentos de
 Manufactura Moderna

Sin embargo, en la mayoría de los casos prácticos, la deformación de la materia prima no es homogénea uniforme como en el caso real. La causa principal de esta diferencia es la presencia de las fuerzas de rozamiento superficial, entre las partes que intervienen. Habitualmente se incorpora grafito o aceite como agente lubricante para disminuir el efecto de la fricción y obtener un resultado cercano al modelo ideal.

Además, el proceso de este tipo de forja se complementa con el calentamiento tanto de la materia prima como del mecanismo que comprime el material; lo que favorece de forma considerable a la generación de granos, una correcta estructura de la pieza final, mayor ductilidad y una disminución de los esfuerzos necesarios para deformar la pieza. No obstante, existe una diferencia importante de temperatura entre el dado y la pieza a forjar, por lo que es posible obtener un “abarrilamiento” en el punto de contacto entre estos elementos. El material se enfría, por conducción, ya que le cede calor al herramental (dado) en las zonas de contacto enfriándose con mayor rapidez; de manera que los extremos de la pieza, que se encuentran aún con elevada temperatura, provocan una dilatación lateral superior a la del centro de la pieza.

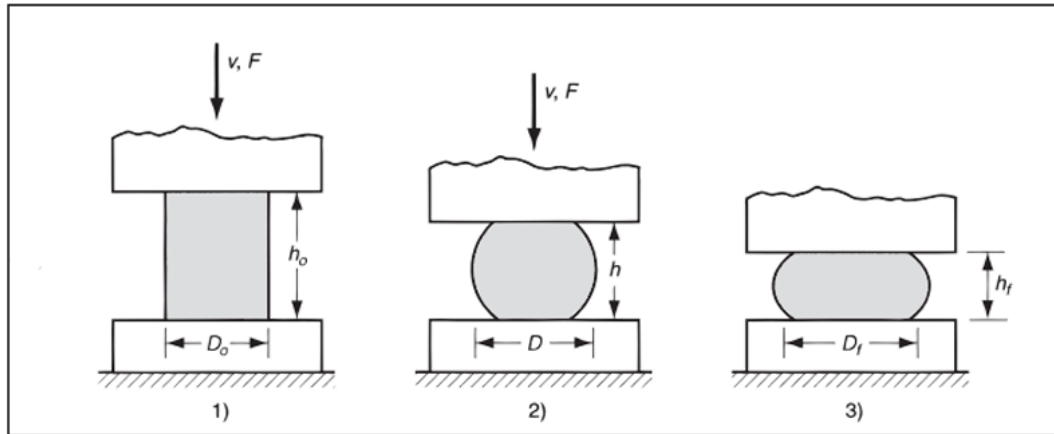


Ilustración 19: deformación real de una pieza de trabajo cilíndrica en forjado con dado abierto, donde se observa un abarrilamiento pronunciado. 1) Inicio del proceso; 2) Deformación parcial; 3) Forma Final. Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

La fuerza de forjado en una operación de este método se puede calcular a partir de:

$$F = Y_f \times A \quad (2)$$

Donde F = fuerza en N o lb; A = área de la sección transversal de la pieza en mm^2 o in^2 Y_f = es fuerza de fluencia correspondiente a la deformación en MPa o lb in^2 .

En los procesos reales, la fricción entre la matriz y la pieza de trabajo genera una deformación no homogénea (como ya se mencionó anteriormente), esto se acentúa cuando aumenta la relación altura diámetro de la pieza a forjar, derivando en un mayor trabajo de impresión.

Se aplica un factor de forma " K_f " para corregir la ecuación (2):

$$F = K_f \times Y_f \times A \quad \text{con} \quad K_f = 1 + \frac{0.4 \mu D}{h}$$

Donde μ = coeficiente de fricción; D = diámetro de la pieza de trabajo o cualquier dimensión que represente la longitud de contacto con la superficie del troquel en mm o in y h = altura de la pieza en mm.

FORJADO EN DADO IMPRESOR O FORJA CON ESTAMPAS

En este tipo de forjado la pieza toma la forma de la cavidad de la matriz mientras se va forjando entre dos matrices con forma. Por lo general, este proceso se realiza a temperaturas elevadas para mejorar la ductilidad de los metales y disminuir las fuerzas".

La pieza que forjar se “prepara” mediante una serie de pasos previos a la conformación final deseada. Este número controlado de deformaciones favorece a la reducción de la fuerza de forjado y a asegurar el correcto llenado de todas las formas geométricas que componen la forma final. Dependiendo, principalmente, de la dificultad de la pieza terminada se diseñarán la cantidad de pasos previos. En la mayoría de los casos, el resultado obtenido de uno de ellos se traslada manualmente al siguiente; yaciendo siempre sobre una matriz inferior fija y conforme la matriz superior descende (la cual está anclada al mazo de la prensa o martillo) se imprime la figura del paso en cuestión.

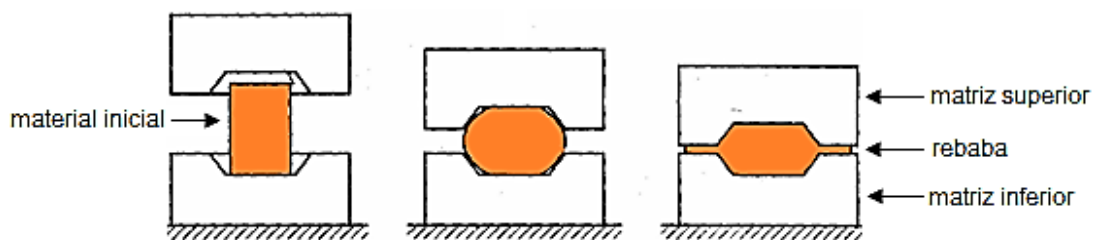


Ilustración 20: Secuencia de Forjado con estampas. Fuente: Fundamentos de Manufactura Moderna.

En la figura anterior se muestra el material de trabajo inicial y la secuencia del forjado. Al cerrarse la matriz y llegar a la posición final, el material fluye más allá de las cavidades de la matriz y forma un excedente (rebaba) en la abertura entre las placas. Este excedente se recorta posteriormente.

A menudo se requieren varios pasos en el forjado con estampas; los pasos iniciales son para distribuir el material en la matriz y de esta manera conseguir una deformación uniforme, mientras que los últimos pasos le dan el acabado final a la pieza. Por lo que el proceso a grandes rasgos está compuesto de los siguientes pasos: Preformado - Forjado - Rebabado.

Obsérvese que en el resultado obtenido en el paso final; la pieza posee de todas las dimensiones de la matriz, pero con el agregado de un excedente de material en la periferia del mismo. Dicho material, que en el paso de recorte es sustraído y descartado, se llama rebaba y cumple un papel fundamental en la impresión en matriz cerrada. “La temperatura elevada y la alta resistencia a la fricción resultante en la rebaba representan una severa restricción al flujo exterior del material en la matriz. Por lo tanto, con base en el principio de la deformación plástica los materiales fluyen hacia donde hay menor resistencia.

De acuerdo con especificaciones del proceso: potencia de la máquina, complejidad de la pieza, requerimientos de producto terminado, etc. el número de pasos podrá ser realizado con ciertas operaciones en simultáneo. Es posible citar el ejemplo del forjado de engranajes de pequeño diámetro. En este proceso suelen realizarse solo los pasos de “aplastado” e “impresión final” obviando el recorte ya que no se cuenta con rebaba (proceso que se describe seguidamente).

Es importante remarcar que este tipo de proceso requiere de un mecanizado posterior para lograr la precisión requerida ya que no posee tolerancias estrechas de trabajo.

FORJADO SIN REBABA

Es posible encontrar procesos de forja con matriz cerrada en los que no se percibe la formación de rebaba; de aquí el nombre.

A diferencia del proceso anterior, el material queda completamente contenido en la cavidad de la matriz durante la compresión y no se forma la rebaba.

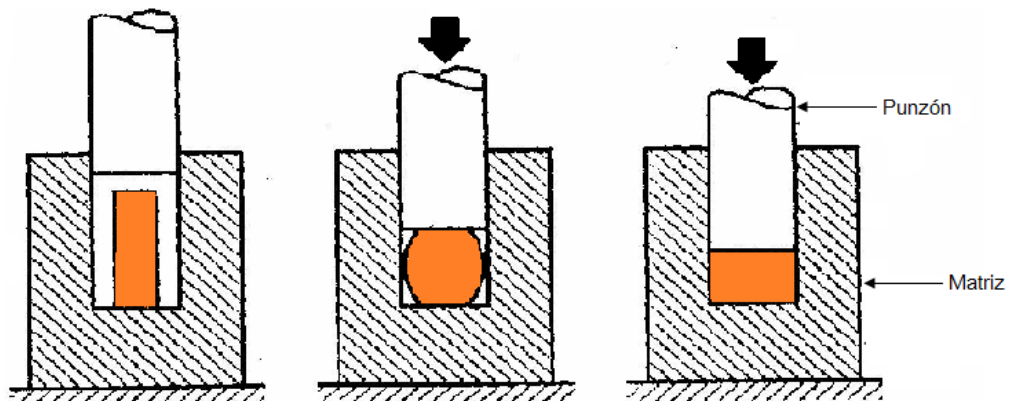


Ilustración 21: Secuencia de forjado sin rebaba en 3 pasos. Fuente: Fundamentos de manufactura moderna.

Este proceso tipo de técnica demanda requerimientos en el control del mismo proceso más elevados o exigentes que en el forjado con rebaba. Requiere que el volumen del material a utilizar iguale al volumen de la cavidad de la matriz dentro de muy estrechas tolerancias, ya que, si es demasiado grande, la presión excesiva puede provocar daños en la maquinaria o en la matriz, mientras que, si es muy pequeño, no se llenará la cavidad.

A continuación, se presenta un cuadro con las principales diferencias entre los dos tipos de forjado más comúnmente utilizados en la práctica:

| RESUMEN | | |
|-----------------------|--|--|
| Proceso | Ventajas | Limitaciones |
| Matriz o dado abierto | Matrices simples y poco costosas; amplia gama de tamaños de parte; buenas características de resistencia; por lo general para cantidades pequeñas. | Limitado a formas simples; es difícil mantener tolerancias cerradas; es necesario maquinarse para dar forma final; velocidad de producción baja; utilización relativamente deficiente del material; requiere alto grado de habilidad |
| Matriz o dado cerrado | Uso de material relativamente adecuado; por lo general con mejores propiedades que los forjados de matriz abierta; buena precisión dimensional; altas velocidades de producción; buena reproducibilidad. | Alto costo de la matriz, no económico para cantidades pequeñas; con frecuencia es necesario el maquinado. |

Ilustración 22: Características generales de los procesos de forjado. Fuente: Manufactura, ingeniería y tecnología.²

2.1.2.3 SEGÚN LA METODOLOGÍA UTILIZADA

En un intento por realizar una primera clasificación de los métodos de forjado, es preciso citar que hasta hace pocos años se definían 2 sistemas, según la metodología utilizada:

SISTEMA AMERICANO

Este sistema terminaba la pieza valiéndose de distintos pasos sobre una misma matriz

SISTEMA EUROPEO

Prepara el material en máquinas auxiliares, usando el equipo principal únicamente para la terminación de la pieza forjada

En la actualidad estos sistemas se han fusionado, y el análisis económico del trabajo a realizar, nos indicará cual es el mejor camino para seguir.

² Fragmento de la tabla encontrada en [4] S. Kalpakjian – S. R. Schmid. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología (5ta ed.) pág. 373

2.1.3 PARTES DE UNA PIEZA FORJADA³

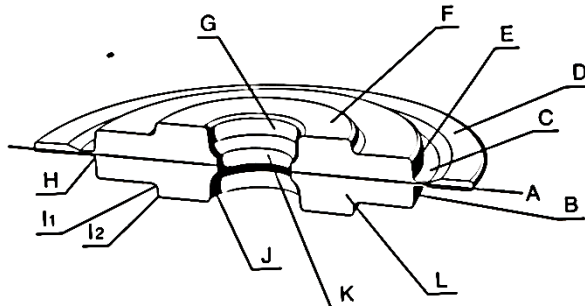


Ilustración 23: partes de una pieza forjada. Fuente: Practica Industrial de la forja en caliente.

A Línea de cierre: Línea que divide la matriz inferior de la matriz superior. Es una zona donde el flujo de material y la orientación de las fibras, tienen una marcada influencia sobre la calidad de la pieza a forjar. Además, es la referencia que va a determinar los ángulos de salida, los radios de empalme de flash (mínimo o posible), y nos ayudara a seleccionar la maquina mas adecuada para realizar el trabajo. Si empleamos una operación de forjado horizontal o vertical, la línea de cierre puede ser plana, como se usan en engranajes, bridas, etc. En otros casos puede acompañar la complejidad geométrica de piezas tipo brazos pitman o cigüeñales.

B – E Ángulos de salida externos: Ayudan a la extracción de la pieza de la matriz

C Flash: Es un excedente de material que se distribuye uniformemente en todo el perímetro de la línea de cierre. Cumple una función muy importante en el proceso, ya que restringe el flujo del material y ayuda a llenar la cavidad de la matriz. Su diseño requiere de especial atención, ya que, si es muy pequeño en relación al peso o espesor de la pieza, se generará un desgaste excesivo en la matriz; mientras que si es muy grande, se generará una falta de llenado de la cavidad originando así una pieza incompleta.

D Rebaba: Material excedente de la operación de forja, el cual debe ser lo más pequeño posible.

³ Tomado de "Practica Industrial de la Forja en Caliente". Bonnemezon Alfredo, Martinez Khramer, Daniel. INTI Mecánica.

G – J Ángulos de salida internos: Son mayores que los externos ya que son los que conforman la parte interior de la matriz (teton inferior o superior). Estos tetones son en general de dimensiones pequeñas y son los que entran en contacto con el material a forjar. Como consecuencia de ello su temperatura aumenta rápidamente y las posibilidades de deformación o rotura pasa a ser un problema significativo.

F Inserto o matriz superior

L Inserto inferior o matriz inferior

K Tejo o tocho central: Siempre que sea factible, se remueve por punzonado en caliente. Cuando el agujero a punzonar presenta diámetros inferiores a 15 mm, el tetón de la matriz, dado su pequeño volumen, toma mucha temperatura, pudiendo provocar una marcada disminución de la vida útil de la matriz. La falla habitual que aparece es el desgarro del extremo del tetón, mientras que, en la operación de punzonado en caliente, suele producirse la fractura del punzón. Por los motivos citados, en aquellas piezas que presenten un tejo central, cuyo diámetro sea menor a 15 mm, el forjador debe convencer al cliente, que dicho tejo se remueva por mecanizado.

H Radio de empalme de flash

I₁ Radio de empalme

I₂ Radio de arista o de bajo fondo

2.1.4 MATERIALES

Para determinar el material a utilizar, en primer lugar, se debe tener en cuenta el fin de la pieza, es decir las condiciones de uso a las que estará sometida. Por lo que la definición del material más apropiado requiere de un acuerdo entre el cliente y el proveedor de la pieza forjada.

Además, se debe definir si se fabricará mediante un proceso de forjado en caliente o en frío, ya que como se mencionó anteriormente, en el caso del forjado en frío, el material deber reunir una serie de características diferentes a las requeridas por la forja en caliente.

El material más utilizado en ambos casos es el acero, dada su elevada resistencia mecánica, conformabilidad y la posibilidad de variar sus propiedades mediante distintos tratamientos térmicos y mecánicos.

Para su correcta elección se deberán tener en cuenta, además del fin y tipo de forjado, los siguientes aspectos⁴:

- Resistencia mecánica
- Tenacidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al desgaste
- Distorsión geométrica
- Maquinabilidad

ACEROS PARA EL FORJADO EN CALIENTE

La conformabilidad del acero depende de su composición química y de la temperatura de forja, ya que su resistencia a la deformación disminuye al aumentar la temperatura.

Para los aceros al carbono, la temperatura de forjado disminuye a medida que aumenta el porcentaje de carbono.

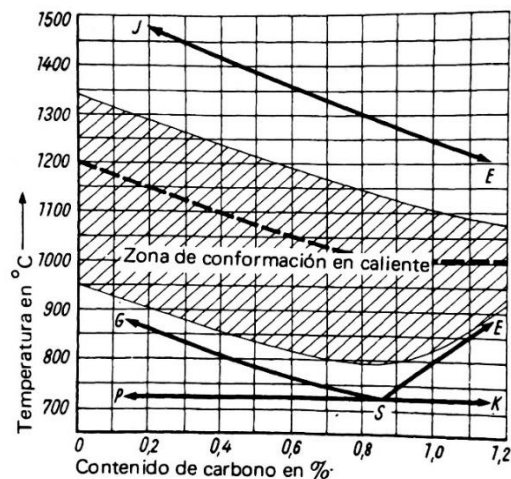


Ilustración 24: Temperaturas de conformación de aceros al carbono. Fuente: Práctica Industrial de la forja en caliente

⁴ Alfredo Jesús Bonnezón – Daniel Martínez Krahmer, 2012, Práctica Industrial de la Forja en Caliente, 1ra edición.

En el caso de los aceros aleados se da una situación similar, aunque la velocidad de calentamiento debe ser menor para que todo el volumen del material alcance la temperatura adecuada y no se generen tensiones superficiales que provoquen fisuras. Además, el rango de temperatura de forjado es menor, con lo cual el proceso de calentamiento se torna necesariamente de mayor precisión.

ACEROS PARA EL FORJADO EN FRIO

Para el proceso de forjado en frío es necesario que el material cumpla con otras exigencias.

En cuanto al procedimiento de fundición, se excluyen aquellos aceros que tienen gases, principalmente nitrógeno, como el acero Thomas. Esto se debe a que altos contenidos de nitrógeno generan roturas debido a la fragilidad en las zonas conformadas. Los aceros Siemens-Martin con un contenido de nitrógeno que varía entre 0,002 hasta 0,008%, y los aceros eléctricos, son los más apropiados para el forjado en frío.

Al mismo tiempo, se debe prestar atención a la composición química del acero, ya que las adiciones tanto de carbono como de otros elementos dificultan la conformación en frío. El carbono tiene principal influencia; por lo general no se utilizan aceros cuyo contenido de carbono supere el 0,50%. Adicionalmente, el silicio y el níquel también tienen influencia sobre la conformabilidad en frío del acero.

Ya que, al aumentar los elementos de aleación, la conformabilidad en frío del acero disminuye, los de bajas aleaciones forman la parte principal de los aceros aleados para la conformación en frío.

2.1.5 EQUIPOS

Los equipos utilizados para el proceso se pueden clasificar de la siguiente manera:

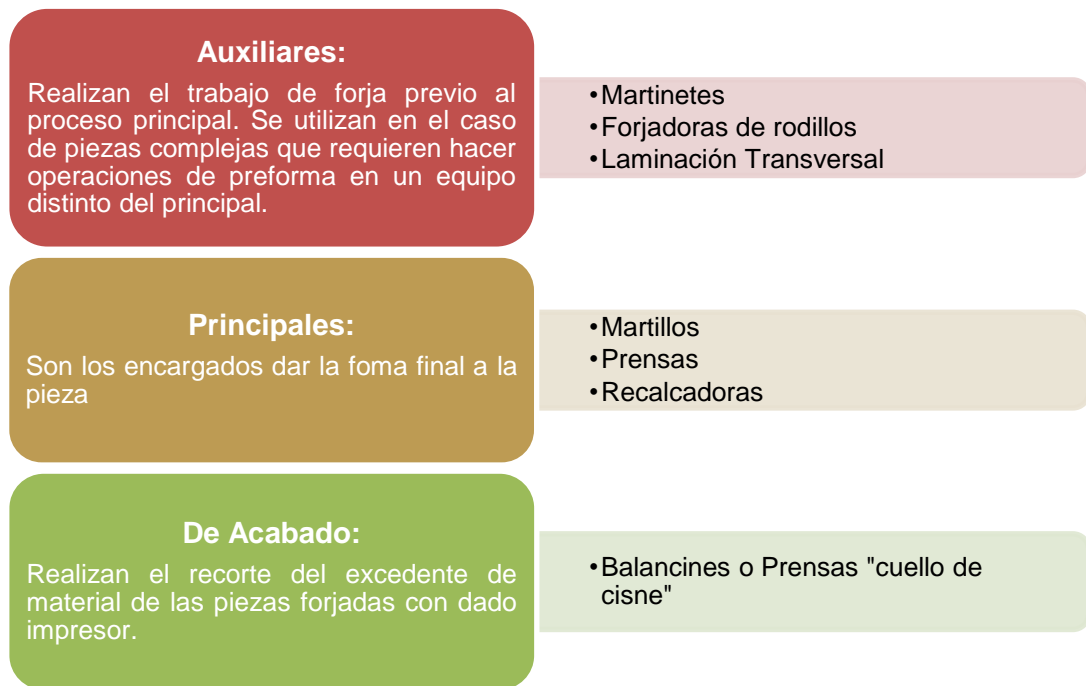


Ilustración 25: Tipos de equipos de Forjado: Fuente: elaboración propia.

MARTILLOS

El martillo es una de las primeras máquina-herramienta que el hombre utilizó para el forjado de elementos. En esencia, está formado en un “mazo o carro” (en la antigüedad se utilizaba un martillo) que se deja caer sobre una mesa o yunque; de una masa de hasta 20 veces superior que la del carro. La energía de impacto dependerá de la relación masa-altura con que se configure el mazo.

Este tipo de sistema es comúnmente nombrado como “martillo de caída por gravedad”. Donde la reposición del mazo en su punto muerto superior o punto de máxima elevación puede ser por medio de: un sistema de correas de elevación, una cadena conectada a un grupo motor, un sistema neumático o hidráulico.

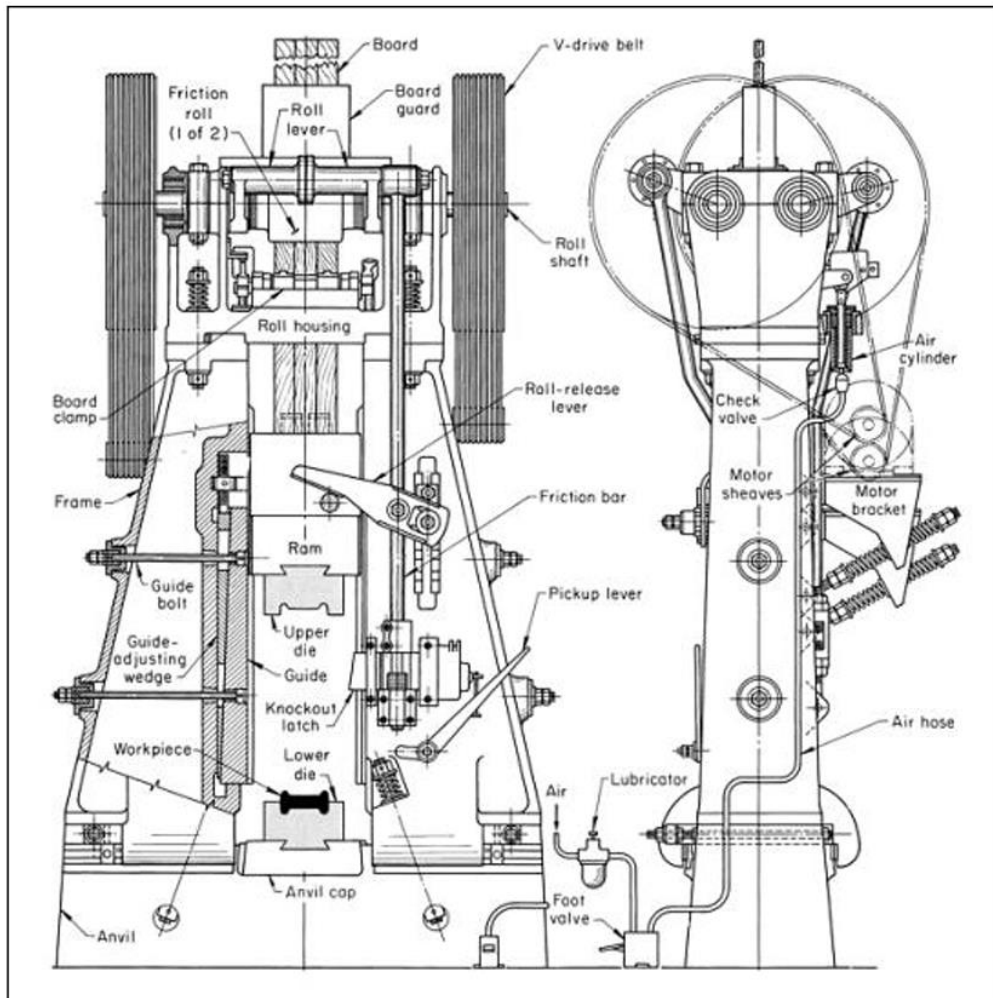


Ilustración 26: Martillo con elevación por correas. Fuente: ASM Handbook.⁵

PRENSAS

Las prensas son equipos que se caracterizan por aplicar una presión gradual sobre la pieza de trabajo. Generalmente suelen diferenciarse en el plano comercial por medio de su capacidad; o fuerza tabulada comúnmente en toneladas. De acuerdo con su funcionamiento o al principio que utiliza para transmitir el movimiento se dividen en:

- a) Prensas hidráulicas: se caracterizan por poseer un vector de velocidad constante en el mazo y son de carga limitada, es decir que el mecanismo de accionamiento se detendrá si la prensa sobrepasa o excede su capacidad.

Las prensas hidráulicas consisten en un bastidor con columnas donde un conjunto de bombas ingresa fluido a presión a un cilindro hermético ejerciendo presión sobre un pistón. Este tipo de máquinas son lentas y tienen

⁵ Fuente: ASM HandBook (1988), Forming and Forging (1ra ed.) Pág 25

un elevado costo de instalación inicial; sin embargo, requieren menos mantenimiento que las prensas mecánicas y sus capacidades van desde las 14.000 a 80.000 toneladas.

Tiene la particularidad que además de ser un equipo de baja velocidad, se puede controlar el tiempo de forjado, modificando a conveniencia la rapidez de deformación y el flujo de metal; haciendo que este tipo de máquina sea utilizada en los procesos de forja que requieren extrema precisión

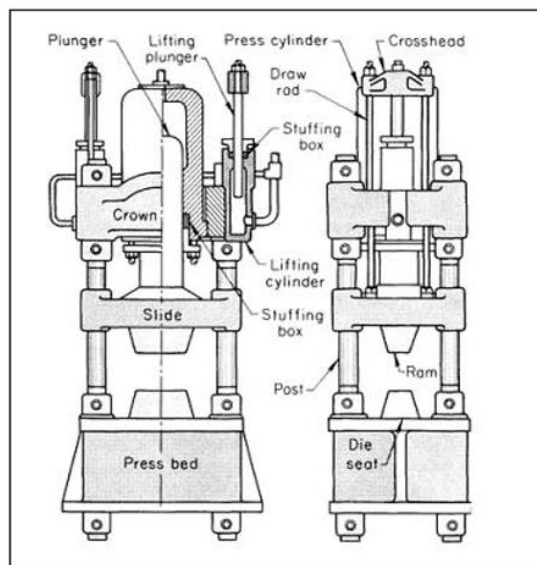


Ilustración 27: Principales componentes de una prensa hidráulica. Fuente: ASM Handbook.⁶

- b) Prensas a tornillo: Estas máquinas cuentan con un tornillo vertical conectado en un extremo (inferior) al mazo y en el opuesto (superior) está anclado a un volante de fricción; basando su funcionamiento en el principio tuerca-tornillo.

Dos motores (para prensas de elevada capacidad, en las prensas pequeñas la motorización es mediante un solo elemento motor) transmiten el movimiento rotativo, a un par de discos ubicados verticalmente en la parte superior de la prensa; en medio de estos se coloca un volante (volantín), el cual está dispuesto de forma horizontal revestido de cuero, en contacto directo con los discos. El accionar de los discos (cada uno con un sentido de giro) moviliza el volantín por la fricción que se ejerce entre el metal y el cuero.

⁶ Fuente: ASM HandBook (1988), Forming and Forging (1ra ed.) Pág 38

El volante está conectado de forma solidaria al tornillo que gira dentro de una tuerca fija.

La regulación del funcionamiento de la máquina se produce con un mecanismo que desplaza lateralmente los discos rotantes hasta ponerlos en contacto con el volante. Dicho mecanismo, en los primeros modelos, estaba basado en una palanca con un pivot, accionada por un operario. La diferencia en el sentido de giro de los discos hace que, de acuerdo con cuál de ellos entre en contacto con el volantín, el mazo se eleve o descienda.

La velocidad de operación es baja (al igual que en las hidráulicas) permitiendo suministrar una fuerza constante; lo que adecua estos dispositivos a operaciones de forjado con largas carreras o para partes delgadas con alta precisión.

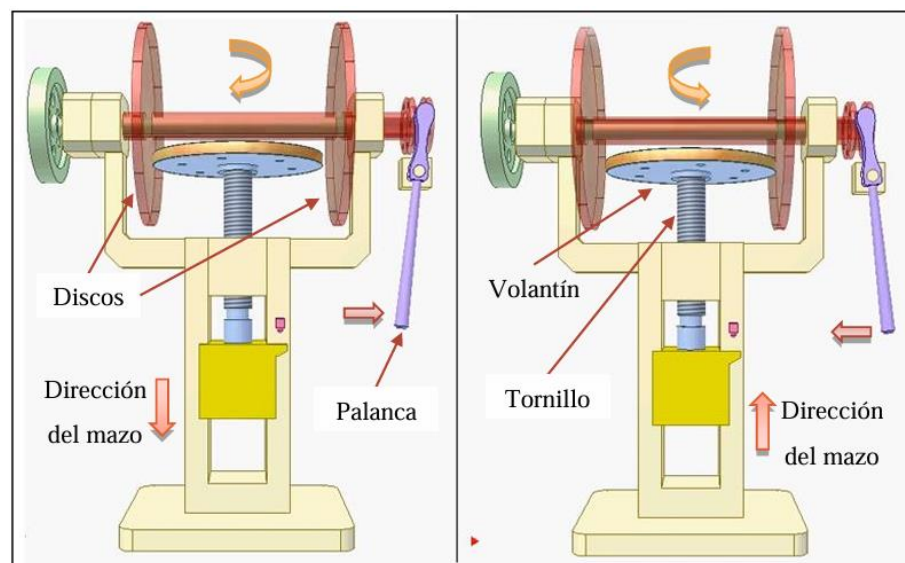


Ilustración 28: Prensa a tornillo. Fuente: web

- c) Prensas Mecánicas: en características generales, en la parte superior tienen un motor eléctrico que imparte un movimiento rotativo a sistema; que mediante un conjunto biela - manivela lo transforma en un movimiento alternativo; de forma similar a lo que sucede en un motor de combustión interna de un automóvil. Todo esto con el efecto de transmitir energía, a un mazo o ariete.

Entre el motor y la biela se encuentra un volante de inercia.

A medida que el volante gira, el mazo se traslada desde su punto muerto superior hacia el punto muerto inferior, acortando las distancias entre éste y un dispositivo fijo denominado mesa (en la ilustración rotulado como yunque); aplicando sobre un objeto que se encuentre sobre esta última un esfuerzo de compresión. encima de el mazo y la mesa se ancla un conjunto de elementos; matrices, suplementos, cajas centradoras, cuñas y pernos de sujeción, etc. para cumplir la misión de forjado.

Una vez en el punto más bajo que la mazo puede alcanzar, cambia su sentido y se dirige nuevamente hasta el punto muerto superior; de esta manera en el espacio existentes entre la matriz superior e inferior se coloca otro trozo de material en bruto para ser forjada, permitiendo la construcción en serie de piezas.

Como la presión es mayor que la resistencia a la deformación del material que se encuentra sobre la prensa, este adquiere la forma contenida en la matriz adquiriendo ciertas propiedades mecánicas debido a la redistribución interna del material.

Durante el funcionamiento normal de la prensa el motor y volante giran libres, para regular el accionar de la prensa, un embrague (generalmente neumático) acopla el volante al conjunto biela –manivela transfiriendo el movimiento y posibilitando el descenso del mazo; de manera que se cumpla un ciclo de trabajo. Automáticamente, cuando comienza la carrera de retorno hacia el punto muerto superior el volante se desconecta; dejando el sistema listo para el próximo accionar del embrague. Este tipo de prensa tiene una alta velocidad de producción, con capacidades que van desde las 300 a las 12.000 toneladas y son preferibles en el forjado de partes de alta precisión.

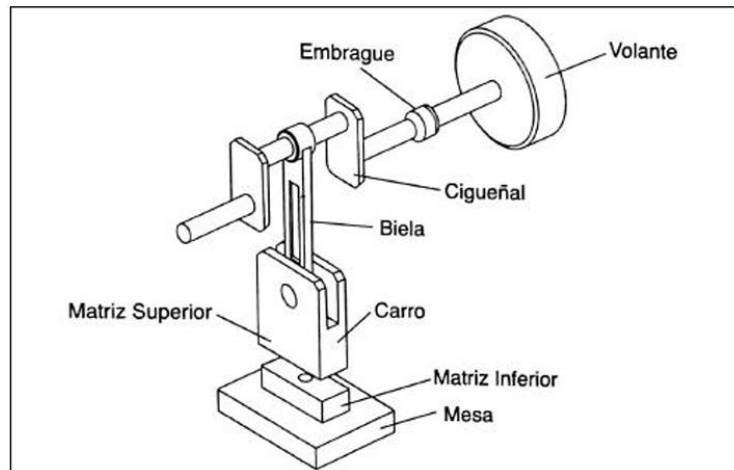


Ilustración 29: Representación de una prensa mecánica. Fuente: Practica Industrial de la forja en caliente.⁷

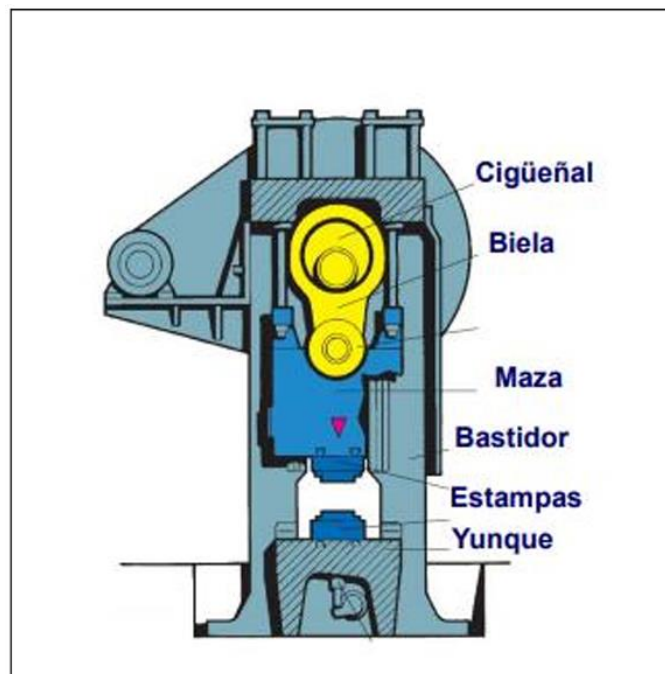


Ilustración 30: Esquema de Prensa Mecánica: Fuente: Presentación de conformado plástico de metales.⁸

⁷ A. J. Bonnemezón y D. Martínez Krahmer (Abril 2012). Práctica Industrial de la Forja en Caliente (1ra ed.). [Libro]. Pág 116.

⁸ Presentación de CONFORMADO PLÁSTICO DE METALES compaginado TECNOLOGÍA MECÁNICA DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea

2.1.6 PROCESOS COMPLEMENTARIOS

A continuación, se explicarán las operaciones que complementan al proceso principal de forjado explicado anteriormente. Estas operaciones se pueden clasificar según ocurran antes o después del proceso principal.

- ❖ Operaciones antes del forjado
 - Corte
 - Calentamiento

- ❖ Operaciones después del forjado
 - Tratamiento Térmico
 - Granallado

2.1.6.1 CORTE

Lo fundamental de esta operación es obtener un corte en escuadra, ya que *“un trozo inicial cortado en forma inclinada puede, una vez dispuesto en la cavidad de la matriz de forja, volcarse hacia un lado, provocando consecuentemente la falta de llenado, y/o defectos en la pieza forjada”*⁹

El peso del trozo cortado dependerá del tipo de horno a utilizar y del equipo de corte. Para definirlo, el área de Ingeniería emplea las siguientes fórmulas.

$$\text{Peso}_{\text{corte}} = \text{Peso}_{\text{neto}} + \text{Rebabas}$$

Donde:

$$\text{Peso}_{\text{neto}} = \text{Volumen neto de la pieza} \times \text{Peso específico del material}$$

Estos cálculos son tenidos en cuenta posteriormente para calcular el peso comercial de la pieza.

$$\text{Peso}_{\text{comercial}} = \text{Peso}_{\text{neto}} + \text{Peso}_{\text{corte}} + \% \text{despunte} + \text{scrap}$$

Los despunte son excedentes de material que resultan de la operación de corte. Usualmente las puntas de las barras de acero suelen estar endurecidas por deformación plástica, por lo que resulta conveniente cortar los primeros 30mm

⁹Bonnemezzón Alfredo – Martínez Kraemer Daniel. 2012, Abril. Práctica Industrial de la Forja en Caliente (1ra edición). [Libro]

(despuntar la barra) para evitar posibles fallas en la pieza forjada. Además de este despunte inicial, el último trozo de la barra no siempre da el peso requerido en cuyo caso es considerado desperdicio.

Actualmente se emplean entre otros, los siguientes equipos de corte:

- Cizalla de corte: Emplea cuchillas de corte, no generan pérdida de material y tienen un reducido tiempo de fabricación. Sin embargo, tienen la desventaja de que generan ciertas deformaciones en los tozos, zonas endurecidas por cizallamiento y una pequeña formación de grietas en la zona de cizallamiento.
- Sierra cinta: Utiliza un proceso de arranque de viruta, por lo cual, a diferencia del método anterior, existe una pérdida de material dada en relación con el espesor de la banda y al trabado del dentado. Esta técnica es más lenta que el corte por cizalla, pero proporciona cortes precisos, con superficies frontales paralelas de alta calidad y sin endurecimientos ni formación de grietas.
- Sierra de disco: Trabajan en forma discontinua para descargar la viruta y enfriar la herramienta. Presentan la ventaja de que generan un corte en perfecta escuadra, lo cual como se mencionó al principio, es fundamental.

2.1.6.2 CALENTAMIENTO PARA LA CONFORMACION EN CALIENTE

Anteriormente, cuando se habló de los materiales, se aclaró que cada material requiere una determinada zona de temperaturas. Billigman señala al respecto lo siguiente: *“el límite inferior corresponde aproximadamente a la temperatura de recristalización, el límite superior viene dado por la formación excesiva de cascarilla, por la formación de grano grueso y en parte también por una descarburación u otro cambio en la composición, como así también por una formación de grietas. Se procura mantener lo más bajo posible la formación de cascarilla, las variaciones de material y alcanzar la máxima capacidad de formación para una resistencia a la deformación mínima.”*¹⁰

La cantidad de calor que es necesario aportar para alcanzar dicha temperatura se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$Q = c \cdot p \cdot (t_f - t_i)$$

¹⁰ Joseph Billigman – Heinz Feldmann. 1979, agosto. Estampado y prensado a máquina (2da edición). [Libro]

Donde:

Q = Cantidad de calor (Kcal)

c = Calor específico del material (Kcal/(Kg.°C))

p = Peso del trozo (Kg)

t_f = Temperatura de forja (°C)

t_i = Temperatura inicial del trozo a forjar (°C)

Para calcular el tiempo necesario para el calentamiento se aplica lo siguiente:

$$T = \frac{Q}{Q_f \cdot \eta}$$

Donde:

T = Tiempo necesario para calentar la carga (Horas)

Q = cantidad de calor para calentar la carga a la temperatura t_f(Kcal)

Q_f = Cantidad de calor suministrado por el horno (Kcal/hora)

η = Rendimiento del horno

HORNOS

Para el calentamiento del material se pueden aplicar uno de los dos principios siguientes:

- Colocar el material en un ambiente caliente, y esperar que toda masa adquiera la temperatura de este, o
- Generar el calor necesario dentro del propio material.

En el primer caso se utilizan hornos de combustión (utilizan combustible, normalmente gas) u hornos eléctricos (usan resistencias eléctricas que se calientan por efecto Joule ante el pasaje de una corriente).

En el segundo caso se utilizan principalmente hornos de inducción, en los cuales el material pasa por el interior de una bobina que genera calor en su interior por efecto de histéresis magnética y corrientes de Foucault.

2.1.6.3 TRATAMIENTO TERMICO

El tratamiento térmico es un proceso que se realiza posteriormente al forjado y consiste, básicamente, en el calentamiento y enfriamiento de las piezas bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo de permanencia.

Este proceso se realiza a aquellas piezas que deben cumplir con determinadas exigencias, ya que permite modificar la microestructura y propiedades mecánicas de éstas.

A continuación, se hace una breve referencia a los tratamientos térmicos comúnmente usados.

- Normalizado: Consiste en calentar el material a una temperatura que depende del tipo de acero y mantenerla el tiempo necesario para obtener la transformación de toda la masa en austenita, tras lo cual se deja enfriar en aire tranquilo. Se utiliza para dar al acero una estructura y características que se consideran el estado “natural” del material.
- Temple: Tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Consiste en calentar el material a una temperatura levemente superior a la crítica (1135°C) y enfriarlo rápidamente en un medio conveniente (agua, aceite, etc.)
- Revenido: Se realiza a las piezas previamente templadas con el objeto de disminuir la dureza y resistencia, eliminar las tensiones del temple y mejorar la tenacidad.
- Recocido: El recocido consiste en calentar el metal a una temperatura adecuada, en la cual se mantiene por un cierto tiempo (llamado recalentamiento) y después enfriarlo lentamente. Se realiza para reducir la dureza y la fragilidad, para ablandar los metales y mejorar su maquinabilidad, para aliviar las tensiones que se generan en el conformado en frío, entre otros.

2.1.6.4 GRANALLADO

Esta operación se utiliza para “limpiar” las piezas, ya que elimina la cascarilla de óxido de hierro que se forma durante los procesos de forjado y tratamiento térmico. Consiste en bombardear la pieza con pequeñas bolas de acero llamadas granallas, las cuales impactan contra la superficie de esta limpiándola y dándole un mejor acabado superficial.

2.2 SIMULACION NUMERICA DE LOS PROCESOS DE FORJA

2.2.1 GENERALIDADES

Son indudables los beneficios que aporta la simulación de un proceso en una computadora, y seguramente los principales tienen que ver con la drástica reducción de los costos al no tener que fabricar y probar prototipos mediante el método de prueba y error, sumado también al hecho de alcanzar un producto más racional y eficaz en menor tiempo, dado el proceso iterativo de mejora que se puede realizar de manera relativamente sencilla con los softwares actuales. Todas estas virtudes se alcanzan sin haber mal utilizado ni materiales, ni tiempo, ni tampoco energía.

La tendencia a simular los procesos, sean del tipo que sean, es cada vez mayor. Y así es a pesar de la elevada inversión en software, y de la necesidad adicional de disponer de personal con alto grado de calificación, para garantizar una utilización eficaz de estos sistemas. Es aquí, donde la simulación numérica encuentra su verdadera dimensión, más allá de que exista aun cierto descreimiento de los resultados que estos softwares entregan, por cuanto siempre dependerán de los datos de entrada, los cuales deben ser los más adecuados posibles.

El especialista en uso del software no debe trabajar solo, sino que por el contrario, debe hacerlo acompañado de un especialista de la forja, dado que este último tendrá la capacidad de detectar errores, a partir del análisis de las salidas que entrega el software. En consideración:

- Si la información de entrada es buena, los resultados que se obtienen son muy precisos.
- Diferencias en el material o la fricción, normalmente no invalidan los resultados obtenidos.
- El uso de la simulación en el forjado en frío ha reducido prácticamente a cero los problemas en los try-out.
- Solo se hacen ajustes por tolerancias o errores humanos.
- Estos sistemas les han permitido a los ingenieros adquirir una comprensión total de lo que sucede durante el proceso de conformado.

2.2.2 TEORIA DE SIMULACION

En esencia, una simulación es la comparación entre dos sistemas buscando la equivalencia entre ambos. Dichos sistemas pueden existir en la realidad o ser completamente abstractos, donde generalmente uno de ellos tiene la característica de ser más sencillo para evaluar o analizar, pero con características extremadamente similares al más complejo. “El sistema empleado para la investigación se denomina modelo”.

Entonces, “la teoría de la simulación que podría definirse como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios de estructura o entorno”. [8]

Cabe destacar que los métodos de simulación computarizada son una herramienta eficiente y ágil para comprender los procesos, ya sean industriales o no, permitiendo identificar la manera más rápida de mejorar la actividad. Actualmente, los amplios beneficios de esta práctica incrementaron la investigación y desarrollo de softwares de simulación con diferentes técnicas numéricas de cálculo; permitiendo que casi cualquier proceso real pueda ser imitado, analizando su comportamiento y evolución en el tiempo.

Con los equipos procesadores de hoy en día, es posible evaluar modelos cada vez más complejos en tiempos extremadamente cortos.

Sin embargo, “al considerar que el modelo representa la realidad con una cantidad menor de información, existe entonces un error inherente al proceso de modelización, el cual puede ser reducido, pero no eliminado. La reducción del error se puede hacer por dos opciones:

1. Adecuada selección de los componentes sumada a una mayor precisión en la medida no implica mayor complejidad del modelo.
2. Mayor cantidad de componentes (partes e interrelaciones funcionales), implica una mayor complejidad del modelo”. [9]

2.2.3 METODO DE ELEMENTOS FINITOS

2.2.3.1 INTRODUCCION

La mayor parte de los fenómenos físicos pueden ser descritos o modelados mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales con sus correspondientes condiciones iniciales y de contorno. En la mayoría de los problemas ingenieriles no es posible obtener una solución exacta al sistema de ecuaciones. Por tanto, es necesario el uso de métodos que permitan obtener soluciones numéricas aproximadas a la real.

El método de los elementos finitos es uno los métodos más usados en ingeniería y física para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales. Aunque puede usarse en cálculos a mano, es cuando se utilizan computadoras cuando permite la resolución de problemas sobre geometrías complicadas. La variedad de problemas a los que puede aplicarse es enorme, se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. En ingeniería permite cálculos tan diversos como tensiones, fluidodinámica, transferencia de calor....

Aunque el método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo, su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo.

En los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances en computación. La generalización del uso de ordenadores y el fenomenal incremento en la potencia de cálculo, ha permitido que el MEF haya desarrollado una increíble precisión. A su vez, han ido apareciendo una gran cantidad de software, cada vez más especializados por materias, que permiten realizar cálculos con elementos finitos de una manera sencilla. Pero no hay que llevarse a engaño, el manejo correcto de este tipo de software exige un profundo conocimiento no solo del programa con el que se trabaja, sino también de los principios del MEF. Sólo en ese caso estaremos en condiciones de garantizar que los resultados obtenidos en los análisis se ajustan a la realidad.

2.2.3.2 DEFINICION DEL METODO

El método de elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos de forma que:

- Se aproxima la geometría (discretización física). El medio continuo se divide en un número finito de partes, o elementos, cuyo comportamiento se define mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos, denominados nodos. Los nodos son los puntos de unión entre elementos adyacentes.
- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El conjunto se forma por el ensamblaje de los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y se aproximan por el valor de la función en los nodos (discretización matemática).
- El comportamiento dentro de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las llamadas funciones de forma (o de interpolación).

El MEF, por tanto, se basa por un lado en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. Por otro lado, las incógnitas del problema se aproximan en cada elemento por combinaciones de funciones de pequeño soporte definidas en los nodos de este, así se reducen las variables al conocimiento de un número determinado y finito de puntos. Esto se conoce como discretización matemática.

2.2.3.3 FUNCIONAMIENTO DE UN PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS

Los programas de elementos finitos disponen de tres módulos de trabajo:

- 1) **Pre-procesador:** Es donde se construye el modelo para el cálculo. En dicho módulo se realizan las siguientes operaciones:
 - Definición de la geometría, bien dibujándola directamente o importándola de un modelo CAD.
 - Selección del tipo de elemento o elementos a emplear. Se realiza en función del tipo de cálculo a realizar.
 - Definición de los materiales a emplear, pueden obtenerse de librerías o ser definidos por el usuario. Lo segundo es lo común cuando se emplean materiales de propiedades no lineales o anisótropos.
 - Asignación de elementos y propiedades de material a los diferentes componentes del modelo.
 - Generación de malla.
 - Aplicación de las cargas y condiciones de contorno del modelo.

- 2) **Calculador:** Es la parte del programa que realiza todo el cálculo del MEF y genera las soluciones. Sigue los siguientes pasos:
 - Selección del tipo de cálculo: transitorio, armónico, estático, etc.
 - Configuración de los parámetros de cálculo: incrementos de tiempo, número de intentos, memoria y procesadores disponibles.
 - Cálculo propiamente dicho. En función del software comienza con una comprobación previa del modelo.
- 3) **Post-procesador:** Con esta herramienta se representan visualmente los resultados y permite de una forma sencilla la interpretación de los resultados. Es posible aplicar operaciones de suavizado, interpolación e incluso determinación de errores de aproximación.

Dependiendo del software, las funciones descritas anteriormente pueden encontrarse dentro del mismo programa o ser programas diferentes. Existe la posibilidad de utilizar diferentes paquetes de software para cada una de las operaciones. Por ejemplo, puede resultar más cómodo el entorno gráfico de uno, pero considerarse que para un tipo de cálculo es más efectivo el algoritmo de otro software.

2.2.4 SIMULACION DE PROCESOS DE FORJA

Las simulaciones de los procesos de forja se implementan para determinar el mejor diseño de las matrices o dados impresores. Se parte desde los cálculos teóricos de la cantidad de materia prima necesaria para fabricar una pieza y se verifica que sea suficiente para obtener una pieza final con todas sus tolerancias dentro de plano.

La “forma” a forjar puede estar grabada sobre los bloques o formada por un conjunto de insertos y partes contenidas dentro de un mismo aparato que dibujen la silueta a estampar (este último caso es frecuente en la forja en frío, donde las matrices son un aglomerado de hasta 30 elementos dentro de una matriz).

También, en la mayoría de los procesos de forja, el paso de la materia prima a su forma final tiene una serie de secuencias que aplican deformaciones como se explicó anteriormente y ejemplifica en la ilustración [10].

Las matrices tienen que acompañar a cada una de las modificaciones de la forma, asegurando que la reubicación del material no afecte al paso siguiente y provoque fallas estructurales en la pieza o algún defecto.

Es por esto por lo que se aplica Ingeniería en el diseño de matrices, con el fin de evaluar, estudiar, modificar y rediseñar los diferentes pasos de forja.

En el diseño, los conocimientos y experiencia de los parámetros característicos de la pieza son vitales; como así también el comportamiento ante cargas elevadas del material con el que está construida la matriz. Aquí es donde ingresan los constantes avances tecnológicos en materia de simulaciones computarizadas; permitiendo tener sublimes niveles de confiabilidad en los resultados obtenidos por softwares (específicos de forja).

Mediante el apoyo con softwares, se predice el flujo de material hacia las cavidades de la matriz, esfuerzos máximos de forjado, incidencia de la temperatura como la lubricación en el proceso y presencia de pliegues, faltas de llenado entre otros posibilitando evitar problemas por diseños defectuosos de matrices.

CAPITULO 3: ANALISIS Y DESARROLLO

3.1 PROCESO ACTUAL

3.1.1 KNUCKLE STEERING

La pieza denominada KNUCKLE STEERING, o comúnmente conocida como “punta de eje” o “soporte de dirección”, forma parte del tren delantero de la camioneta marca “TOYOTA”, modelo “HILUX”, para sus versiones 4x4 y 4x2. Tiene un modelo derecho y otro izquierdo, siendo ambas piezas iguales simétrica espejo una de otra. (una para la rueda delantera derecha y otra para la rueda delantera izquierda).

Este componente se encuentra en todos los modelos del vehículo mencionado, desde su lanzamiento en el año 2005, hasta la actualidad. Cabe destacar que en el segmento de las Pick-up fabricadas en Argentina, Toyota es la única firma que usa este componente “forjado”, aprovechando las virtudes según lo expresado en 2.1.1. Sus competidores emplean piezas “fundidas”, las cuales para alcanzar en promedio las mismas prestaciones, son de mayor dimensión y sección.



Ilustración 31: Toyota Hilux. Fuente: web

Es la parte más importante del vehículo que está conectado a la rueda delantera con la ayuda del sistema de suspensión y el cubo de rueda, a su vez estos también están conectados al sistema de dirección y freno. Cuando los conductores

giran el volante, convierte el movimiento lineal de la barra de dirección en movimiento angular de la rueda, siendo esta su función principal, como así también soportar el peso vertical del vehículo, por lo que la forma y el tamaño dependen mucho de este.

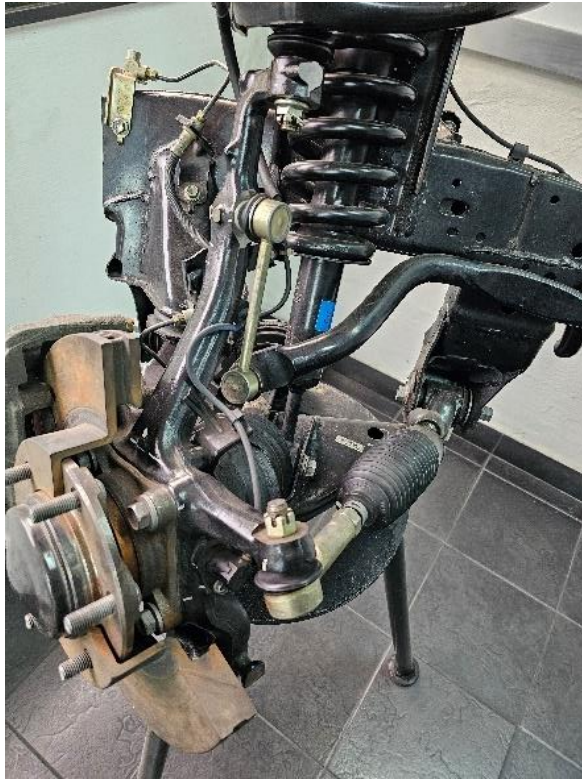


Ilustración 32: partes de tren delantero derecho Toyota Hilux. Fuente: elaboración propia.

Debido a la importancia de su función, esta pieza es catalogada por el cliente como “de seguridad”, debido a que la falla en el desempeño de esta, provocada por cualquier factor, pone en riesgo la vida de las personas que son transportadas en el vehículo, como así también a terceros que puedan verse afectados por tal situación.



Ilustración 33: Knuckle Steering derecho-izquierdo (mecanizado y pintado). Fuente: web.

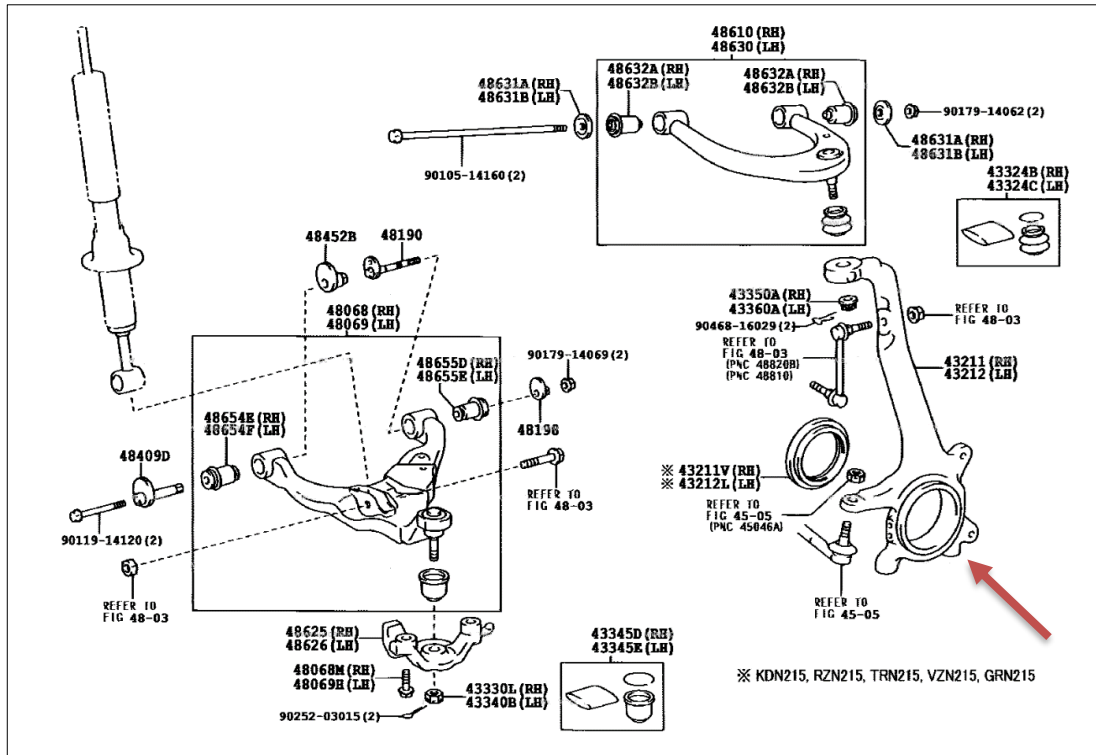


Ilustración 34: Despiece tren delantero Toyota Hilux, con una flecha roja se indica el componente en cuestión. Fuente: web.

El diseño del componente listo para montar en la camioneta es exclusividad de Toyota Motor Corporation (TMC), el cual es suministrado al proveedor, en este caso a CRAFMSA para el desarrollo del proceso de forja a fin de obtener la pieza con los requerimientos solicitados. Este plano corresponde a la pieza lista para montar en el vehículo.

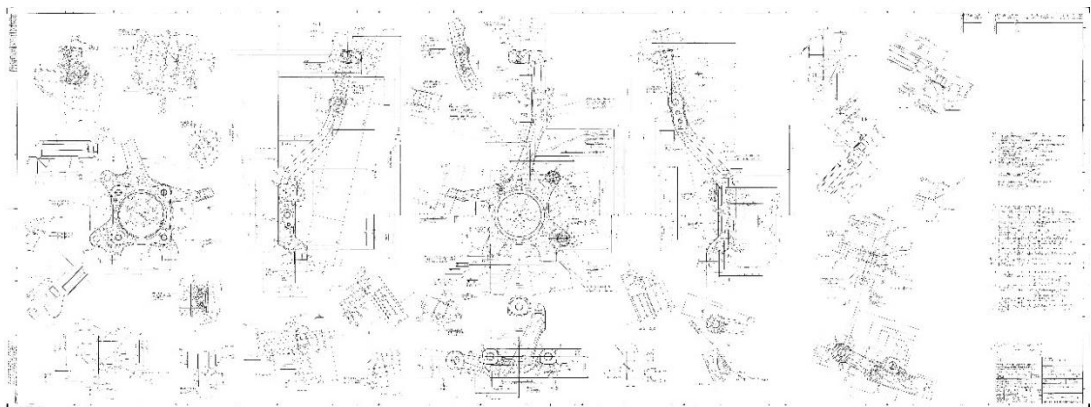


Ilustración 35: Plano Knuckle RH. El modelo LH es simétrico espejo al mostrado. Fuente: elaboración propia.

A partir del mismo, el departamento de ingeniería de la empresa diseña la pieza forjada (en bruto), lo cual consiste en agregar sobremateriales a las zonas donde

se mecaniza a los efectos de que se obtengan las superficies establecidas por el cliente. Luego se diseñan las etapas necesarias del proceso y en función de ello, las matrices (moldes), con los cuales se obtendrá. En síntesis, se genera en primera instancia los modelos 3D y a partir de ello se obtiene los planos 2D.

Actualmente esta pieza se fabrica únicamente en 3 lugares en el mundo:

- AICHI FORGE - San Antonio, Texas - EEUU
- HUBCO - Johannesburgo – Sudáfrica
- CRAFMSA - Villa Mercedes, San Luis – Argentina

Por ello, tal como se menciona en 1.6.8, CRAFMSA está catalogada como proveedora de nivel global, lo que representa que ante cualquier inconveniente que Toyota posea en sus plantas de EEUU o Sudáfrica, pueden proveerse piezas desde Argentina para abastecer ese mercado.

3.1.2 PROCESO PRODUCTIVO

La pieza es designada internamente por la compañía del siguiente modo:

- Pieza 2524 Knuckle Steering RH (derecho)
- Pieza 2525 Knuckle Steering LH (izquierdo).

Las diferentes etapas del proceso de fabricación de estos componentes, se describen a continuación.

RECEPCION DE MATERIA PRIMA

La materia prima son barras de acero “microaleado”, de calidad 38MnSiVS5, en sección cuadrada de 81 mm. La misma es de origen “Brasil”, fabricada en la acería “Gerdau” en la planta ubicada en la ciudad de Charqueadas.

El laboratorio metalúrgico de la empresa genera la “ESPECIFICACION DE MATERIAL”, en la cual se describen las características que esta calidad de acero debe tener a fin de cumplir los requisitos del cliente en la pieza forjada. Estos requisitos, el cliente los describe en una norma interna propia de su compañía.

Para el caso en cuestión corresponde la EM 191, en su versión N°15. Se detallan entre otras cosas la composición química, las características dimensionales, superficiales y metalúrgicas, como así las normas utilizadas para su elaboración.

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------------|---|--------|---|------|------|------|-------|---|
|  | ESPECIFICACION DE MATERIAL | | Numero: 191 | Cliente: Toyota Norma del cliente: TIS 01202-01758 Rev. Sep. 2003 TS H5104G Rev. Abril 1996 | | | | | | | |
| | | | Versión: 15 | | | | | | | | |
| Calidad de Material: 38MnSiVS5 | Tipo de Producto: Palanquillas Perfil: Cuadradas | Proveedores aprobados: GERDAU | | | | | | | | | |
| Códigos de Materia Prima y Secciones: 901231 (80 x 80 mm) 901321 (81 x 81 mm) Para aceros procesados en Planta Charqueadas | | Estado de entrega: Laminadas | Dureza: Max. 320 HB | | | | | | | | |
| Composición Química | | | | | | | | | | | |
| | C% | Mn% | Si% | P% | S% | V | Cr% | Ni% | Cu% | N% |  |
| Mínimo | 0,35 | 1,30 | 0,50 | ---- | 0,030 | 0,08 | ---- | ---- | ---- | 0,010 | |
| Máximo | 0,40 | 1,42 | 0,80 | 0,030 | 0,065 | 0,13 | 0,25 | 0,15 | 0,25 | ----- | |
| Dosificar el acero apuntando a valores de Ceq entre 0,80 y 0,86 (objetivo) -Límites de aceptación 0,80 a 0,90. Calculado con la fórmula: $Ceq = C + 1/7 Si + 1/5 Mn + 1/9 Cr + V$ | | | | | | | | | | | |
| Características Dimensionales y Superficiales | | | | | | | | | | | |
| Discrepancia en la medida del lado: -0 + 1,2 mm – Profundidad máxima de defectos: 0,30 mm – Código 901321 proveer largos múltiples de acuerdo a lo indicado en Especificaciones Adicionales. | | | | | | | | | | | |
| Características Metalúrgicas | | | | | | | | | | | |
| Tamaño de Grano Austenítico: 5 a 8 | | Norma: ASTM E-112 | | Método: M.Q.E | | | | | | | |
| Descarburación [mm] Ferrítica ó completa: 0,05 max. Total: 0,20 max. | | | | | | | | | | | |
| Microinclusiones: S/ASTM E-45 Método A | | | | | | | | | | | |
| | Serie | Tipo A | Tipo B | Tipo C | Tipo D | Ensayo ultrasónico Verificar el 100% de las palanquillas por ensayo ultrasónico, descartando los sectores que indiquen defectos internos superiores a 2 mm FBH (agujero de fondo plano) | | | | | |
| | Fina | ---- | ≤ 3 | ≤ 1 | ≤ 2 | | | | | | |
| | Gruesa | ---- | ≤ 2 | ≤ 1 | ≤ 2 | | | | | | |
| Ensayo Magnaflux: realizar doble ensayo de partículas al 100% del material. | | | | | | | | | | | |
| Observaciones: Reducción lingote/barra >= 4S | | | | | | | | | | | |
| Otros Requerimientos | | | | | | | | | | | |
| Datos a detallar en el certificado de calidad: Composición Química, Ceq, Tamaño de Grano, Nivel microinclusiones, Dureza, Resultado de ensayo de ultrasonido, Resultado de ensayo de detección de defectos superficiales, Nro Código M. Prima, Nro Especificación de Material y Versión, Dimensiones del producto y tolerancias. | | | | | | | | | | | |

Ilustración 36: Especificación de material Knuckle Steering RH/LH. Fuente: laboratorio metalúrgico CRAFMSA.

CORTE DE MATERIA PRIMA:

A partir de la generación de la OP (orden de producción), la materia se traslada desde su ubicación en la playa de materiales, hacia la nave de corte, donde se carga en una sierra automática de corte a disco. La misma es programada de acuerdo con lo indicado en la hoja de proceso elaborada por ingeniería. Los controles se realizan de acuerdo con lo establecido por el departamento de calidad.

A medida que se va cortando, los trozos van cayendo dentro de un contenedor (capacho), correctamente identificado. Este capacho tiene una modulación determinada a fin de no superar la carga máxima que pueden levantar y trasladar los autoelevadores de la planta. Este dato también está indicado en la hoja de procesos respectiva.

Los capachos son ubicados en una playa de material cortado, que tiene asignado la prensa de forja. De aquí se van llevando a medida que se necesita hasta el horno de inducción.



Ilustración 37: Sierra a disco destinada a corte de material para Knuckle Steering. Fuente: elaboración propia.

CALENTAMIENTO DE MATERIA PRIMA:

Los capachos se cargan en la plataforma destinada para tal fin al ingreso del horno. Por medio de un electroimán vinculado a un polipasto, un operador carga el material cortado en la cinta de entrada al horno.

El calentamiento se realiza en un horno de inducción de 1400 Kw de potencia. La temperatura a la cual se debe calentar es 1220-1250°C. Los parámetros para lograr esta temperatura, los cuales son básicamente potencia y velocidad, están detallados en la hoja de proceso de forja, generada por ingeniería. El operador vuelca estos parámetros en el PLC del horno antes de comenzar con el calentamiento.

ROLADO EN 4 PASOS SECUENCIALES:

Este proceso se realiza en una Roladora de 1600 Tns, con capacidad de 4” para material de sección cuadrada o redonda.

Los trozos a temperatura caen en una cinta transportadora del tipo “cangilones”, un operador toma el trozo en el extremo de la cinta con una pinza diseñada para tal fin. A su vez esta pinza está sujeta (colgada) a una bandera con un carro que permite el giro y traslación.

Este proceso se realiza con el fin de “estirar” el material en uno de sus extremos para mejor aprovechamiento de la materia prima. Consta de 4 pasos diseñados especialmente.

A continuación, se observa las imágenes de la deformación desde el tocho en estado “virgen”, hasta la obtención de la secuencia diseñada para el proceso.



Ilustración 38: Proceso de Rolado. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 39: Secuencia de rolado 1er a 4to paso. Fuente: elaboración propia.

FORJADO EN 3 PASOS SECUENCIALES:

Los tres pasos se realizan en el mismo equipo, una prensa mecánica (biela-manivela), de 4000 Tns.



Ilustración 40: Forjado en prensa de 4000 tns. Fuente: elaboración propia.

Una vez efectuado el rolado, el operador deposita la secuencia en una cinta transportadora, que la traslada hacia la prensa principal.

En la etapa de Aplastado, se le imprime a la secuencia rolada, un aplastamiento a fin de “acomodar” el material para permitir la localización en la etapa de preformado, y a su vez también para realizar la rotura de la escoria que contiene el tocho, principalmente en la zona donde no es deformado por la roladora, caso contrario esta escoria se pega a la pieza en las próximas etapas, pudiendo causar el defecto conocido como “pozo de escoria”. Además, se consigue también suavizar alguna arista viva que pueda haberse generado durante el proceso de rolado.



Ilustración 41: Secuencia de Aplastado. Fuente: elaboración propia.

En el proceso, el resultado obtenido en el “aplastado” se coloca entre dos estampas impresores que estampan la figura que se conoce como “Grabado de Preformado”. Las estampas, que se denominan como “Matriz Preformado Superior”

(MPS) y Matriz Preformado Inferior” (MPI) a su contraparte, imprimen una segunda deformación al material caliente.



Ilustración 42: Secuencia de preformado: Fuente: elaboración propia.

Esta deformación intermedia permite reducir esfuerzos de la prensa para el conformado final de la pieza. Además, permite que el material vaya ocupando su lugar dentro la cavidad de la matriz de la forma más suave posible.

La figura que imprimen los insertos, se diseña teniendo en cuenta los requerimientos que precisa la pieza final; cada fragmento o parte de la figura del preformado esta deliberadamente conformada para asegurar el completo llenado de una parte en específico del final. Básicamente es una matriz con su figura similar a la de final, pero con la geometría más reducida en ancho, pero aumentada en espesor. Además, los radios de transición entre zonas de la matriz son de mayor valor, a fin de permitir el flujo correcto del material.

Es correcto suponer que, el preformado, al ser el paso siguiente del aplastado y obtenido con el resultado de este, está influenciado por los errores y desperfectos que pueda traer consigo el trozo de material aplastado.

En la etapa final, el resultado obtenido en el “preformado” se coloca entre dos estampas impresores que estampan la figura que se conoce como “Grabado de Final”. Las estampas, que se denominan como “Matriz Final Superior” (MFS) y Matriz Final Inferior” (MFI) a su contraparte imprimen la deformación final al metal.



Ilustración 43: Secuencia de Final: Fuente: elaboración propia.

En esta etapa se obtiene la pieza final con sus características específicas, dimensionalmente dentro de lo que solicita el cliente. Cabe destacarse que la cantidad de material, masa y volumen no se alteran durante el proceso.

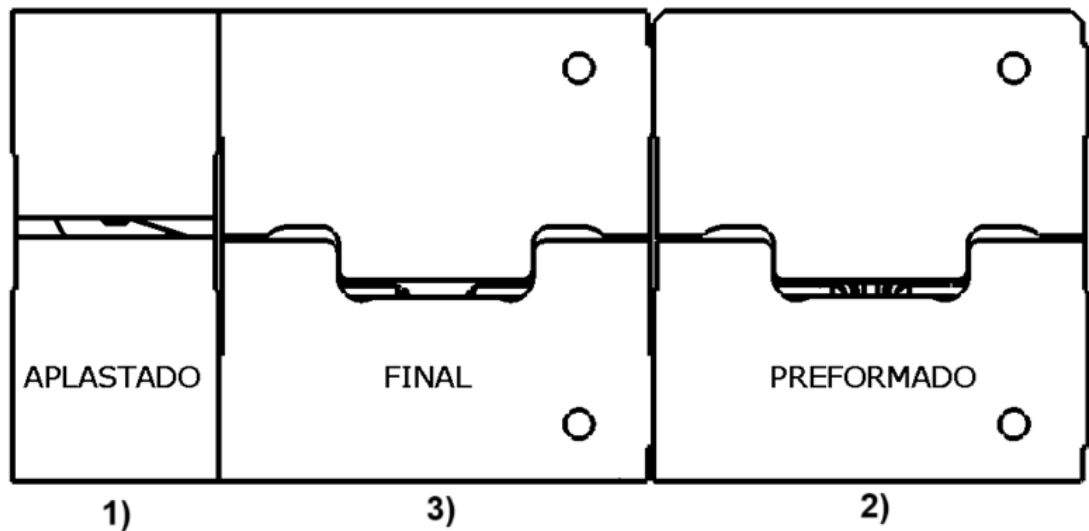


Ilustración 44: Conjunto armado de pasos en prensa de 4000 tns. Fuente: elaboración propia.

REBABADO-PUNZONADO Y ACUÑADO EN CALIENTE:

Estas etapas se realizan por separado, pero dentro del mismo equipo.

Una vez realizadas las operaciones de aplastado, preformado y final en la prensa principal, se coloca la secuencia en una cinta transportadora, que la traslada hasta la prensa auxiliar. El operador toma la pieza y la coloca en el herramental de rebabado-punzonado donde se realiza el recorte del sobrante de la pieza, conocido como rebaba. Este descarte se tira en un contenedor dedicado, a fin de trasladarse hasta un almacén interno desde donde se cargan los camiones para ser vendido como chatarra.



Ilustración 45: etapa de rebabado-punzonado en prensa auxiliar. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 46: Pieza rebabada y punzonada (derecha). Descartes de rebaba y punzón.
Fuente: elaboración propia.

Luego, en la etapa de acuñado en caliente, se coloca la pieza entre 2 matrices de geometría similar a las de final en lo que respecta a dimensiones en el eje "Z", pero descargada en eje "X" e "Y". Allí se le realiza un "calibrado" a la pieza, para corregir las deformaciones producidas durante el proceso de rebabado-punzonado.



Ilustración 47: Acuñado en caliente en prensa auxiliar. Fuente: elaboración propia.

Esta operación se puede realizar únicamente en caliente, por las características de la materia prima. Si se realizara en frío, el material busca restituirse a la posición original, o sea no sufre una deformación permanente.

ENFRIAMIENTO CONTROLADO AL AIRE CALMO:

Posterior al acuñado en caliente, la pieza se deposita en una cinta de enfriamiento al aire libre (calmo). Este proceso es debidamente controlado por el

Laboratorio Metalúrgico. La permanencia sobre la cinta es de 12 minutos para lograr una microestructura Perlita + Ferrita (tamaño de grano ≥ 3.5).



Ilustración 48: Cinta de enfriamiento al aire calmo. Fuente: elaboración propia.

GRANALLADO:

En esta etapa se limpia la pieza de los restos de escoria o cascarilla que posee adherida producto de la descarburación sufrida durante el enfriamiento.

Las piezas se colocan en un sistema de “perchas”, las cuales se deslizan hacia el interior de la granalladora. Una vez finalizado el proceso, se descargan directamente sobre la bandeja de entrada al puesto de inspección.

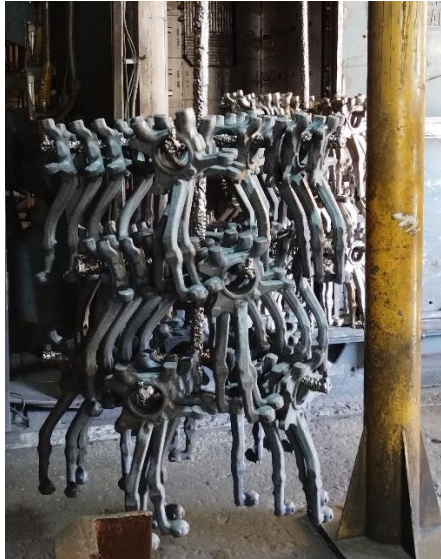


Ilustración 49: Piezas dispuestas en sistema de "perchas" previo al ingreso a granalladora.
Fuente: elaboración propia.

INSPECCION POR PARTICULAS MAGNETIZABLES + INSPECCION VISUAL:

Por ser una pieza de seguridad, se la somete a una inspección 100% por partículas magnetizables. Donde la pieza se coloca en un campo electromagnético y a su vez se la moja completamente con líquido "magnaflux". Esto se realiza a fin de detectar pliegues (solapamiento de material), que puedan originar acumulación de tensiones, lo que puede tener como consecuencia roturas de la pieza.

Además, este proceso al realizarse prácticamente en línea con el proceso de forjado permite detectar estas anomalías e informar a la línea de producción, para que se efectúen las correcciones necesarias.

Posteriormente se realiza un control visual 100% del componente, antes de colocarlo en el contenedor dedicado.



Ilustración 50: Pieza en proceso de inspección por partículas magnetizables. Fuente: elaboración propia.

ALMACENAMIENTO EN CONTENEDOR DEDICADO + DESPACHO AL CLIENTE:

Las piezas se colocan en contenedor dedicado, el cual se encuentra especificado por el cliente, con su correspondiente modulación.



Ilustración 51: Piezas en contenedor dedicado provisto por el cliente final. Fuente: elaboración propia.

3.2 DESARROLLO DE LA MEJORA

A continuación, se presenta la propuesta de mejora con sus respectivos estudios previos, re-diseños, construcción y pruebas experimentales.

3.2.1 ESTUDIOS INICIALES

El disparador de la propuesta de optimización surge del análisis de tiempos perdidos en producción y las roturas de herramientas que se presentaron

Como se indicó en el punto 1.4 (Alcances y límites), este trabajo se focaliza únicamente en la etapa de Preformado y las consecuencias que traslada a la etapa Final.

Las matrices superiores e inferiores de preformado y final, son bloques rectangulares con las siguientes características:

- Dimensiones generales matrices inferiores: 705x380x290
- Dimensiones generales matrices superiores: 705x380x260
- Material: acero SAE H13
- Dureza de base: 38-42 HRc (obtenida por temple y revenido)
- Tratamiento Superficial Antidesgaste: Nitrurado gaseoso con profundidad de capa 0.10-0.18 mm.



Ilustración 52: Matriz inferior de preformado para Knuckle Steering LH (pieza 2525). Fuente: elaboración propia.

Estas matrices junto con las de “aplastado” se montan en un “porta-matriz” por medio de bridas delanteras, traseras y laterales, como así también 2 suplementos laterales tanto para el conjunto superior como para el inferior. Este porta-matriz está a

su vez adosado a la mesa de la prensa por medio de tornillos de fijación (inferior), y la parte superior del porta-matriz esta adosado al mazo, también por medio de tornillos de fijación.

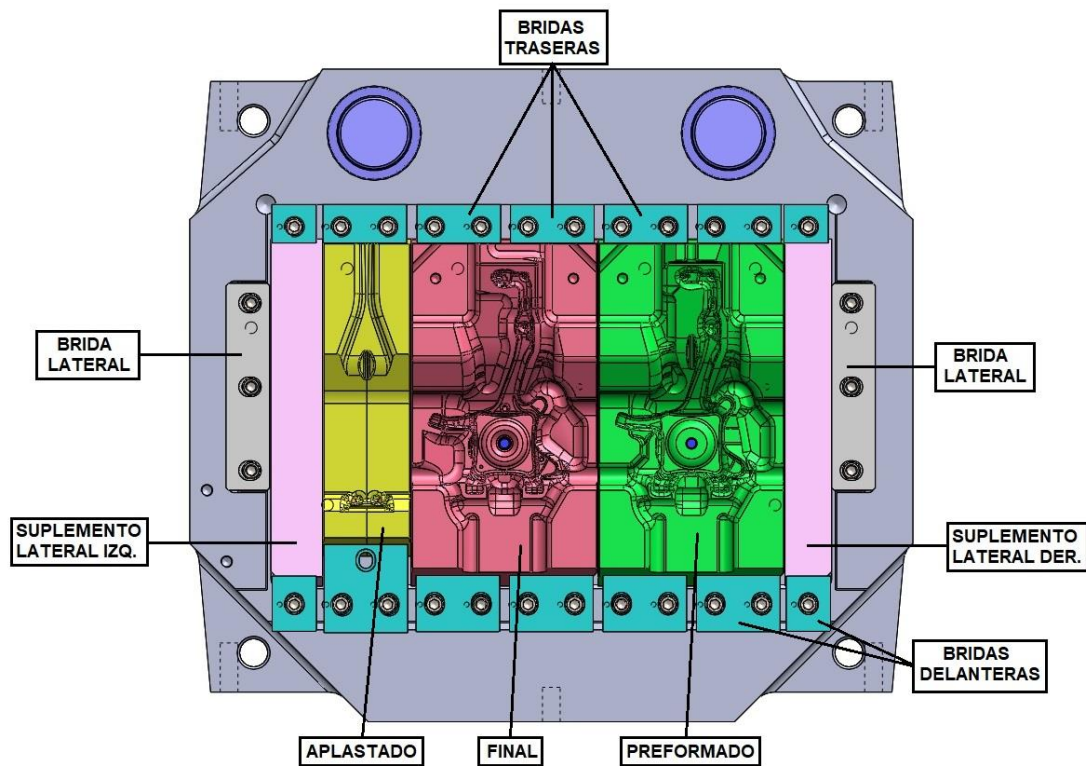


Ilustración 53: Conjunto de matrices armadas en portamatriz (inferior). Fuente: elaboración propia.

La etapa final siempre se arma en el centro del portamatriz, dado que al ser la etapa que imprime la forma final debe ser la que menos variación dimensional tenga. Esto no es aleatorio, es una recomendación del mismo fabricante, dado que el cigüeñal del equipo coincide con el centro del portamatriz. Esto asegura que la falta de paralelismo entre ambas matrices no supere un valor determinado, dado que es un ítem crítico para el mecanizado de la pieza.

Las matrices tienen definida una vida útil std de 7000 piezas por “grabado”. La cantidad de grabados admitidos es de 5. Esto quiere decir que la vida útil total es de 35000 piezas.

La construcción inicia a partir de un bloque de acero, el cual cuenta con su respectiva especificación, y el proceso de mecanizado comienza en una fresa convencional, para luego pasar al mecanizado en fresa CNC. Los sólidos 3D necesarios para este mecanizado son suministrados desde ingeniería al departamento

de matricería, el cual cuenta con personal especializado para la generación de los programas de mecanizado.

Una vez que la matriz ingresa a producción, y cumple con las 7000 piezas, se manda a efectuar el nuevo “grabado”, el cual consiste en mecanizar la matriz en el eje “Z” una altura definida por Ingeniería de Producto, necesaria para limpiar el grabado anterior. Consecuentemente la matriz va perdiendo altura con estos grabados, lo que se compensa con suplementos que se colocan en la base de la matriz.

Tal como se indicó en 1.1, el forjado en caliente es un proceso de tipo “abrasivo”, lo que produce desgastes en las matrices inferiores y superiores; obligando a realizar, durante el proceso, paradas programadas para ajustes de estos. De no ser así, cualquier defecto o inestabilidad que se produzca en ellos se trasladará a la pieza, generando Scrap (desecho) de proceso por pliegue (solapamientos de material incrustados en la pieza que generan su descarte).

La zona sobre la cual se estudia corresponde a la denominada internamente como “brazo corto”, que es donde el ajuste o reparación es más reiterativo, desde poco tiempo de iniciada la producción y aumenta la frecuencia hacia el fin de vida útil de la matriz. Es una zona totalmente asimétrica y ubicada de forma prácticamente perpendicular a la forma general de la pieza, convirtiéndola en una zona de alta fluencia de material, y sobre la que se imprime un gran esfuerzo a fin de “obligar” al material a trasladarse hacia esa zona.

Dentro de los eventos que pueden ocurrir se encuentran las denominadas “paradas de maquina”, que son las interrupciones a la producción, o sea el tiempo inducido por algún problema, en el cual la maquina deja de producir. Para el caso del problema a analizar en este trabajo, de modo de monitorear el desgaste de matriz, se utiliza el siguiente código:

- N° 260: Ajuste de Matriz en brazo corto

Este código está asociado al sector de matriceria, ya que es quien interviene para que la maquina vuelva a producir en el menor tiempo posible.

3.2.1.1 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2524 (KNUCKLE STEERING RH)

Los datos sobre el total de producciones durante el año 2021 fueron los siguientes:

| Pieza | 002524F | | |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| DISPONIBILIDAD | 1017,6 | 61,1% | 61,1% |
| MANTENIMIENTO | 271,2 | 16,3% | 77,4% |
| MATRICERIA | 155,4 | 9,3% | 86,7% |
| PRODUCCION | 101,8 | 6,1% | 92,8% |
| SETUP | 93,4 | 5,6% | 98,4% |
| OTROS | 23,2 | 1,4% | 99,8% |
| INGENIERIA | 2,3 | 0,1% | 99,9% |
| ARMADO | 1,3 | 0,1% | 100,0% |
| Total general | 1666,2 | 100,0% | |

Ilustración 55: Resumen de producciones pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTSA.

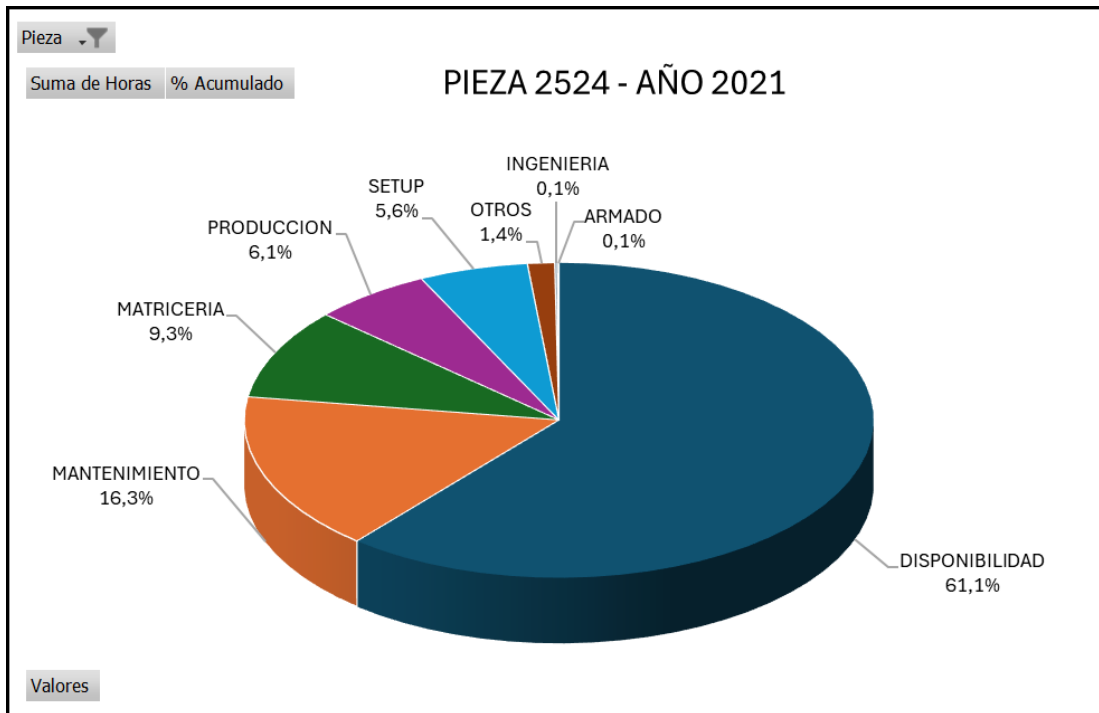


Ilustración 56: Gráfico de torta con resumen de producciones de pieza 2524, año 2021.
Fuente: elaboración propia.

La subcategoría “Disponibilidad”, corresponde al tiempo que la maquina estuvo trabajando con la pieza en cuestión. Entonces para la pieza 2524, se trabajaron 1666,2 hs durante el año 2021, de las cuales:

- 1017,6 hs (61,1%) la maquina se encontraba “disponible”, o sea estuvo trabajando con la pieza en cuestión.
- 648,6 hs (38.9%) la maquina estuvo detenida por alguna interrupción asociada a los sectores de mantenimiento, matricería, producción, detenciones por setup, otros, etc.

El detalle de paradas de maquina se muestra en la tabla a continuación:

| Pieza | 002524F | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| MANTENIMIENTO | 271,2 | 41,8% | 41,8% |
| MATRICERIA | 155,4 | 24,0% | 65,8% |
| PRODUCCION | 101,8 | 15,7% | 81,5% |
| SETUP | 93,4 | 14,4% | 95,9% |
| OTROS | 23,2 | 3,6% | 99,4% |
| INGENIERIA | 2,3 | 0,4% | 99,8% |
| ARMADO | 1,3 | 0,2% | 100,0% |
| Total general | 648,6 | 100,0% | |

Ilustración 57: Resumen de paradas de maquina pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTSA.

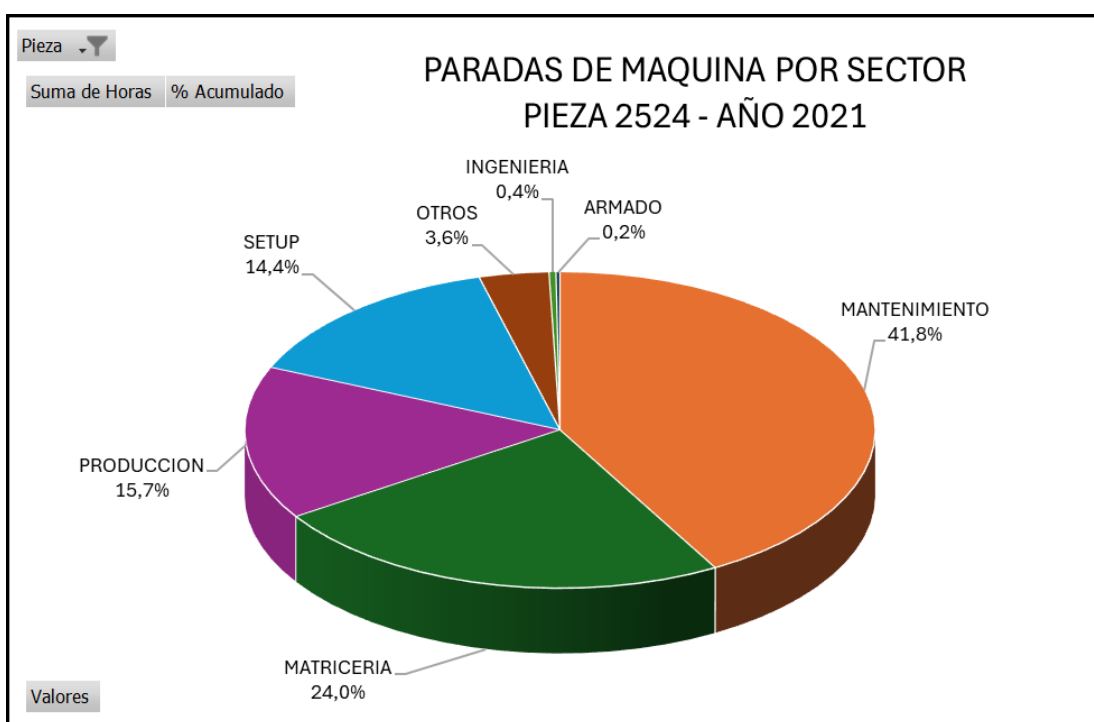


Ilustración 58: Gráfico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, si efectuamos el diagrama de Pareto de las Horas de parada por sector observamos que el 80% corresponden a los sectores de mantenimiento, matriceria y producción.

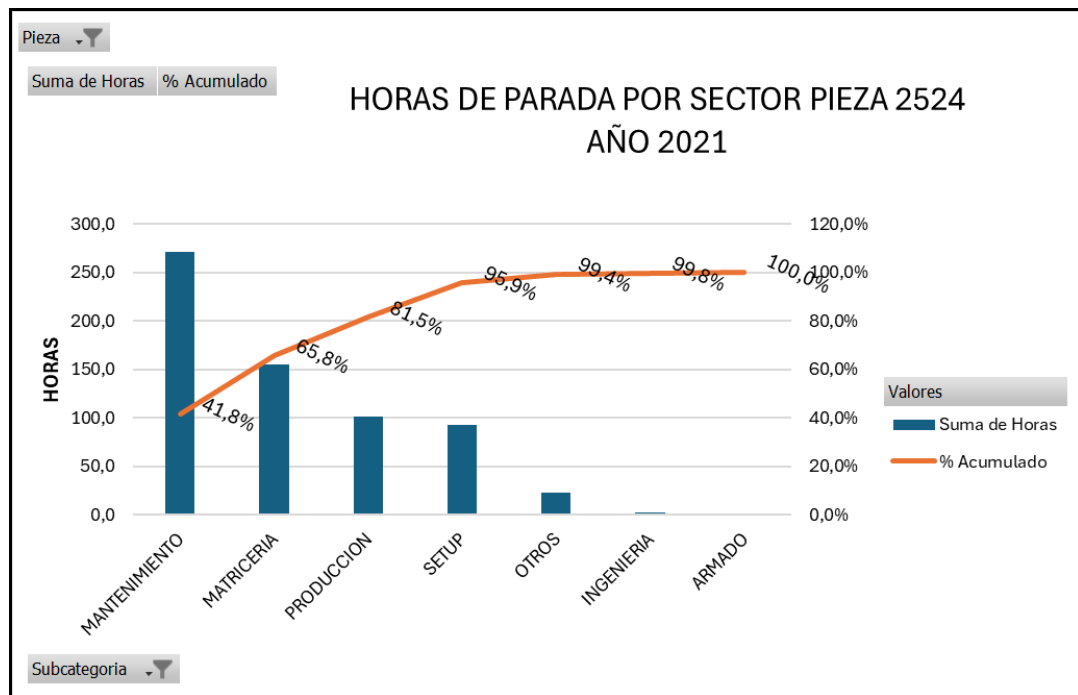


Ilustración 59: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Dentro de estos sectores hay diferentes causas por las que el equipo se detuvo, las cuales se encuentran identificadas por el código correspondiente tal como se mencionó al inicio de esta sección.

Dentro de estos 3 sectores, Ingeniería de Producto interviene sobre las causas que tengan relación con problemas de diseño de herramientas, o acciones que se realicen sobre los mismos. En este caso aplican directamente al sector de matricería, de donde se obtiene el siguiente análisis:

| Pieza | | 002524F | | |
|----------------------|---------------|---------------|-------------|--|
| Subcategoría | | MATRICERIA | | |
| Datos | | | | |
| Código | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado | |
| 260 | 97,8 | 63,0% | 63,0% | |
| 288 | 23,5 | 15,1% | 78,1% | |
| 272 | 18,1 | 11,6% | 89,7% | |
| 289 | 8,3 | 5,3% | 95,1% | |
| 405 | 3,3 | 2,1% | 97,2% | |
| 279 | 2,8 | 1,8% | 99,0% | |
| 416 | 1,5 | 1,0% | 100,0% | |
| Total general | 155,4 | 100,0% | | |

Ilustración 60: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2524, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

Podemos observar que el código que abarca mayor hora de parada es el código 260 que corresponde a “Ajuste de Matriz”. Podremos visualizarlo correctamente en el Pareto a continuación:

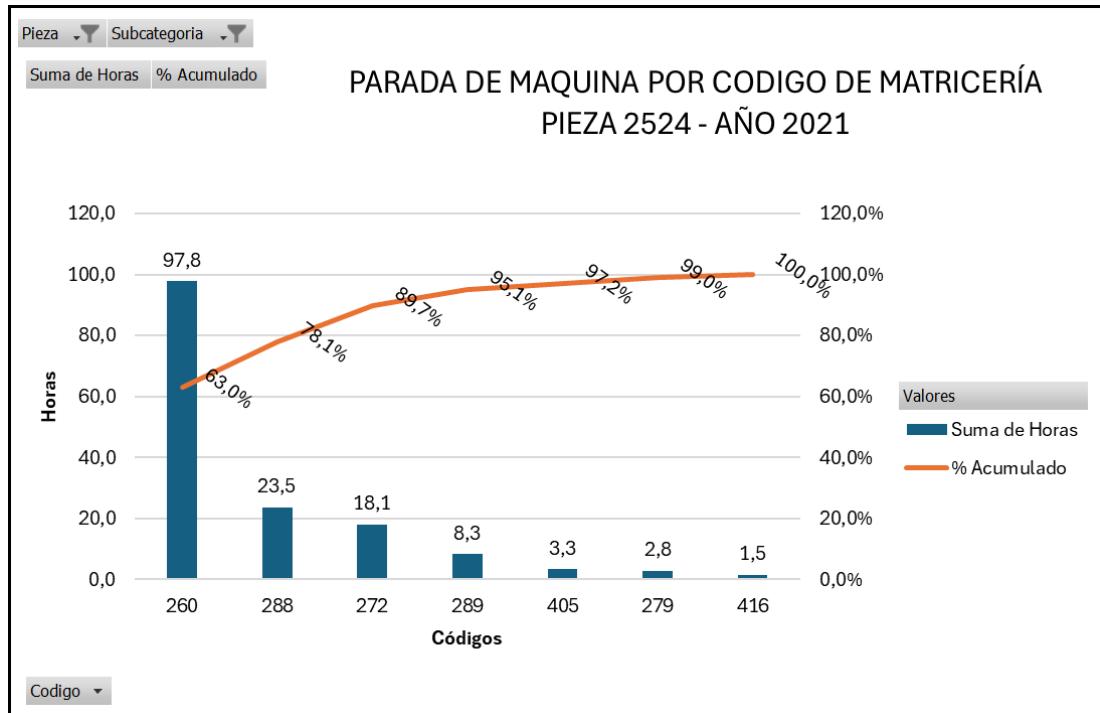


Ilustración 61: Diagrama de Pareto horas de parada de máquina por código del sector matricería pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Para mayor claridad los demás códigos incluidos en este listado corresponden a las siguientes causas:

- 288: Mal estado rebabadora
- 272: Problemas de Pernos
- 289: Rotura de Perno
- 405: Tiempo inducido por matricería
- 279: Ajuste doblador Inferior
- 416: Error dimensional de auxiliares

3.2.1.2 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2525 (KNUCKLE STEERING LH)

Los datos sobre el total de producciones durante el año 2021 fueron los siguientes:

| Pieza | 002525F | | |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| DISPONIBILIDAD | 921,2 | 58,6% | 58,6% |
| MANTENIMIENTO | 232,4 | 14,8% | 73,4% |
| MATRICERIA | 208,8 | 13,3% | 86,6% |
| SETUP | 113,9 | 7,2% | 93,9% |
| PRODUCCION | 80,8 | 5,1% | 99,0% |
| LOGISTICA | 9,7 | 0,6% | 99,6% |
| ARMADO | 3,2 | 0,2% | 99,8% |
| OTROS | 2,5 | 0,2% | 100,0% |
| Total general | 1572,4 | 100,0% | |

Ilustración 62: Resumen de producciones pieza 2525, año 201. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

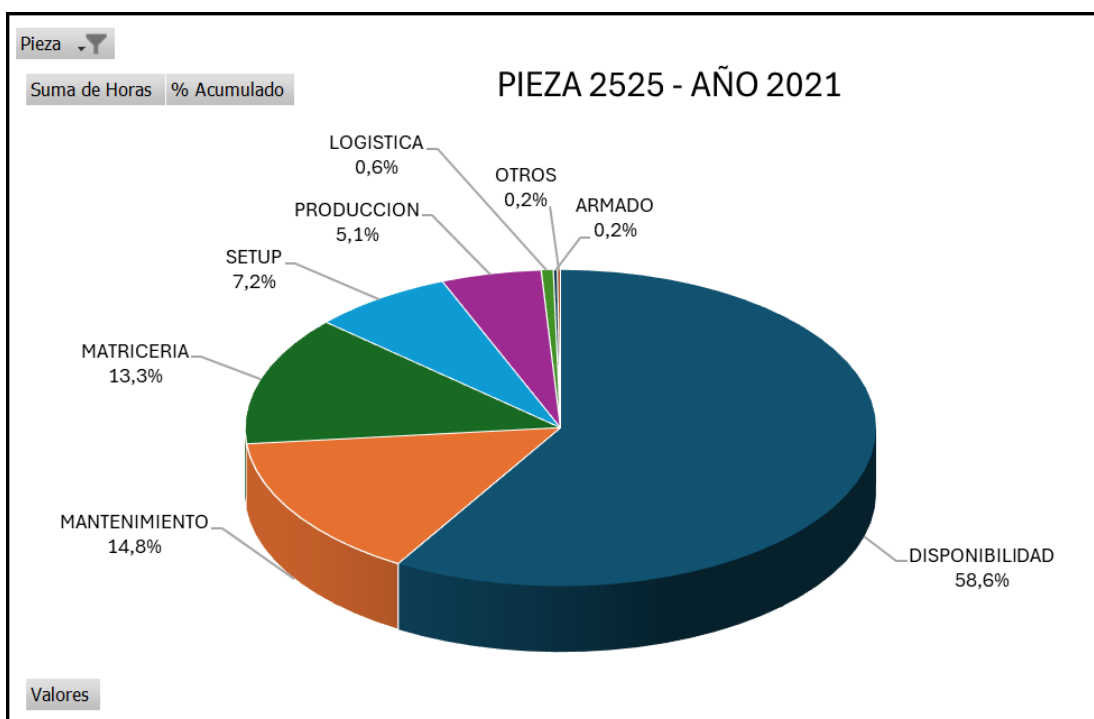


Ilustración 63: Grafico de torta con resumen de producciones pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia

Para este componente se trabajaron 1572,4 hs durante el año 2021, de las cuales:

- 921,2 hs (58,6%) la maquina se encontraba “disponible”, o sea estuvo trabajando con la pieza en cuestión.
- 651,2 hs (41.4%) la maquina estuvo detenida por alguna interrupción asociada a los sectores de Mantenimiento, matricería, producción, detenciones por setup, otros, etc.

El detalle de las paradas de maquina se muestra en la siguiente tabla:

| | | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|
| Pieza | 002525F | | |
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| MANTENIMIENTO | 232,4 | 35,7% | 35,7% |
| MATRICERIA | 208,8 | 32,1% | 67,7% |
| SETUP | 113,9 | 17,5% | 85,2% |
| PRODUCCION | 80,8 | 12,4% | 97,6% |
| LOGISTICA | 9,7 | 1,5% | 99,1% |
| ARMADO | 3,2 | 0,5% | 99,6% |
| OTROS | 2,5 | 0,4% | 100,0% |
| Total general | 651,2 | 100,0% | |

Ilustración 64: Resumen de paradas de máquina, pieza 2525, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTSA.

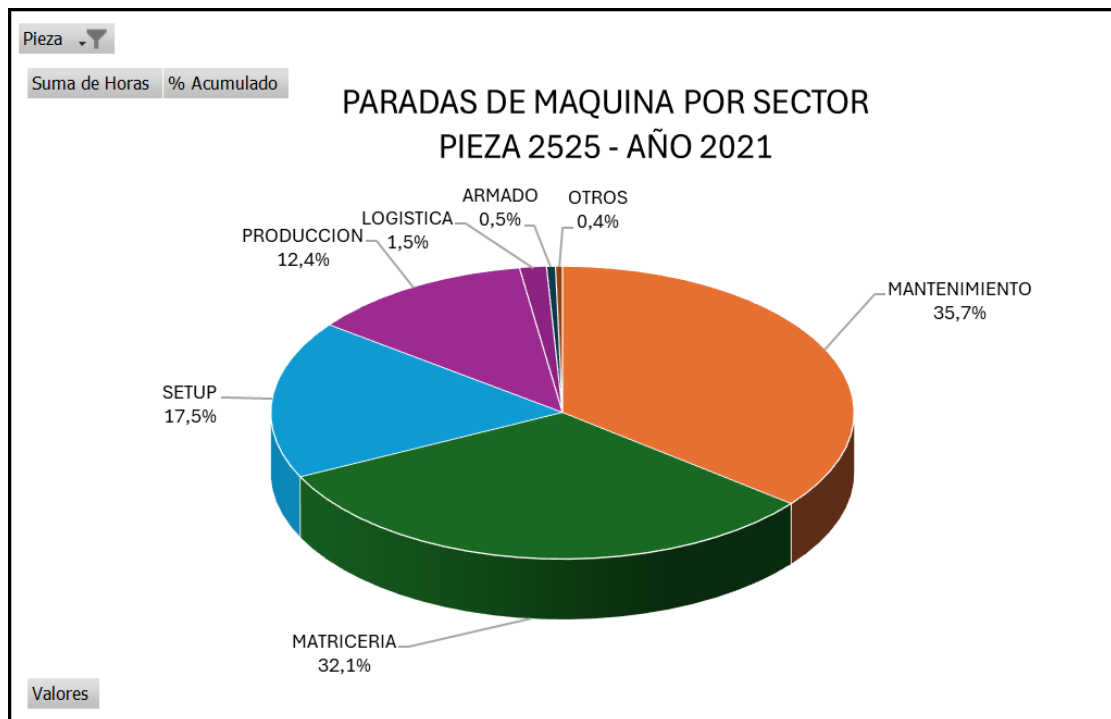


Ilustración 65: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Efectuando el diagrama de Pareto de las Horas de parada por sector observamos que el 80% corresponden a los sectores de mantenimiento, matriceria y setup.

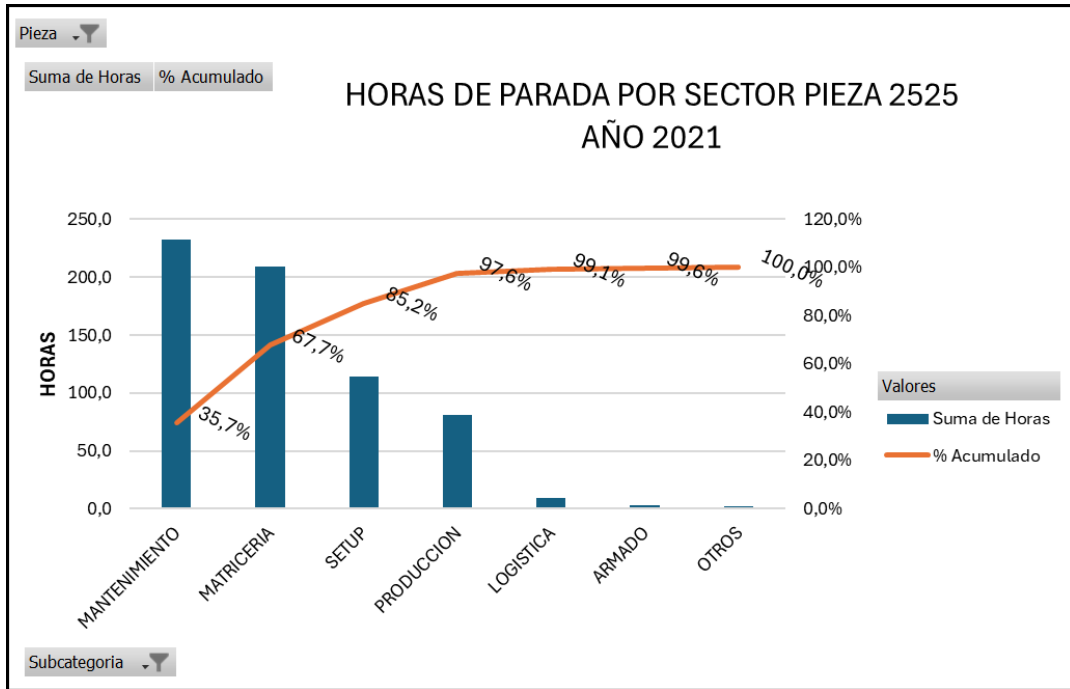


Ilustración 66: Diagrama de Pareto horas de parada por sector, pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Analizando nuevamente los códigos del sector matricería, se obtiene la siguiente tabla:

| Pieza | | 002525F | | |
|----------------------|---------------|----------------|-------------|--|
| Subcategoría | | MATRICERIA | | |
| Datos | | | | |
| Código | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado | |
| 260 | 151,6 | 72,6% | 72,6% | |
| 288 | 33,8 | 16,2% | 88,9% | |
| 289 | 10,2 | 4,9% | 93,8% | |
| 405 | 6,5 | 3,1% | 96,9% | |
| 272 | 3,9 | 1,9% | 98,7% | |
| 412 | 1,4 | 0,7% | 99,4% | |
| 426 | 0,5 | 0,3% | 99,7% | |
| 425 | 0,5 | 0,2% | 99,9% | |
| 277 | 0,2 | 0,1% | 100,0% | |
| Total general | 208,7 | 100,00% | | |

Ilustración 67: Resumen de horas de parada por códigos del sector matricería, pieza 2525, año 2021. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTSA.

Observamos nuevamente que el código 260, es el de mayor porcentaje de parada.

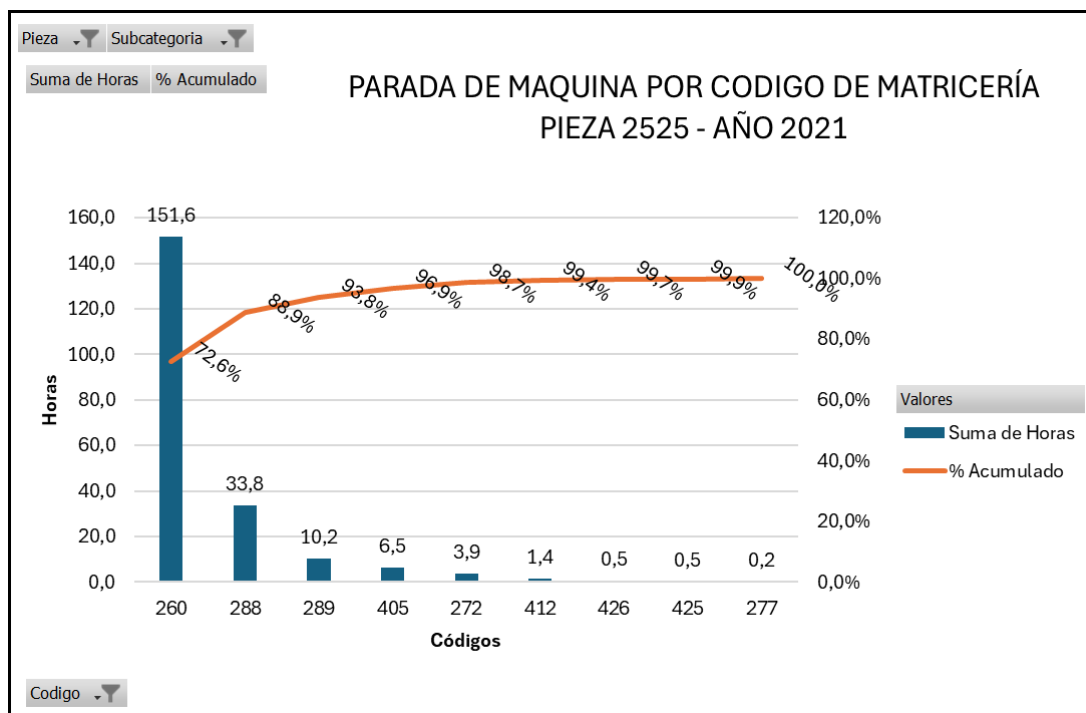


Ilustración 68: Diagrama de Pareto con horas de parada por códigos de matricería, pieza 2525, año 2021. Fuente: elaboración propia.

Entre ambas piezas suman un total de paradas de máquina por ajuste de 249,4 hs. Esto equivale a 10,4 días de trabajo o 31,2 turnos de trabajo de 8 hrs cada uno.

Si el STD de fabricación es de 130 pzas/hr, entonces durante 2021 se perdieron de fabricación 32435 piezas, por paradas de máquina para ajustar la matriz en la zona en cuestión, de modo de no incurrir en piezas scrap por solapamiento de material (pliegue).

La empresa Toyota consume 1600 juegos por día de piezas, por lo que, en un mes de 20 días hábiles, consume 32000 piezas. Por lo tanto, pueden compararse estos valores con los de las piezas “no fabricadas” y se llega a la conclusión de que se ha perdido un mes de producción debido únicamente a las paradas por ajuste.

3.2.2 FACTORES QUE FAVORECEN AL DESGASTE DE MATRICES

El ambiente de trabajo de las matrices utilizadas para realizar operaciones de forjado en caliente es extremadamente agresivo. Las elevadas temperaturas y el cambio brusco de las mismas (shock térmico), así como fuertes impactos afectan significativamente la vida útil de las estampas. Pero no son estas las únicas variables que influyen, sino también otras como, por ejemplo: calidad del acero a utilizar,

tratamiento térmico del herramental, condiciones de las superficies, diseño del mismo, entre otras.

La capacidad de producción de las matrices influye no solamente en la “productividad del equipo”, sino también en que las dimensiones solicitadas y el aspecto de la pieza terminada estén conformes al plano de esta. Dicho de otro modo, la prensa será mas productiva si se disponen de herramientas que duran tanto que se evita el cambio frecuente de la mismas, o se limitan los tiempos de parada debido a defectos en las mismas.

3.2.2.1 SOLICITACION MECANICA

El gran número de los procedimientos de trabajo requiere de las matrices características muy distintas; las fuerzas ocasionadas en la conformación llevan principalmente a una sollicitación dinámica. Cada una de las herramientas está expuesta a las distintas sollicitaciones de tracción, compresión, flexión y torsión que pueden tener efecto también simultáneamente. En este caso la sollicitación es caso siempre por impacto o empuje. Por lo tanto, las matrices deben ser tenaces y resistentes. Además, algunas partes de las matrices están expuestas a desgaste, de modo que han de ponerse determinadas exigencias a la estructura, dureza y terminación superficial.

Indefectible e indirectamente el desgaste más allá de generar problemas de calidad al producto también origina que la fuerza necesaria para deformar sea mayor. Esto en la práctica se consigue operando sobre la regulación del equipo, disminuyendo la distancia entre matrices y en consecuencia aumenta la presión, para que el material llegue a llenar el molde completamente.

En una prensa del tipo mecánica, como la utilizada para la pieza en estudio, la presión de forjado aumenta exponencialmente por cada decima de milímetro en que la distancia anteriormente mencionada disminuye.

Para la etapa del proceso de preformado en análisis en este trabajo, una presión de trabajo “ideal” oscila entre las 3400 y 3500 tns; es decir el equipo trabaja aproximadamente al 85% de su capacidad de forjado.

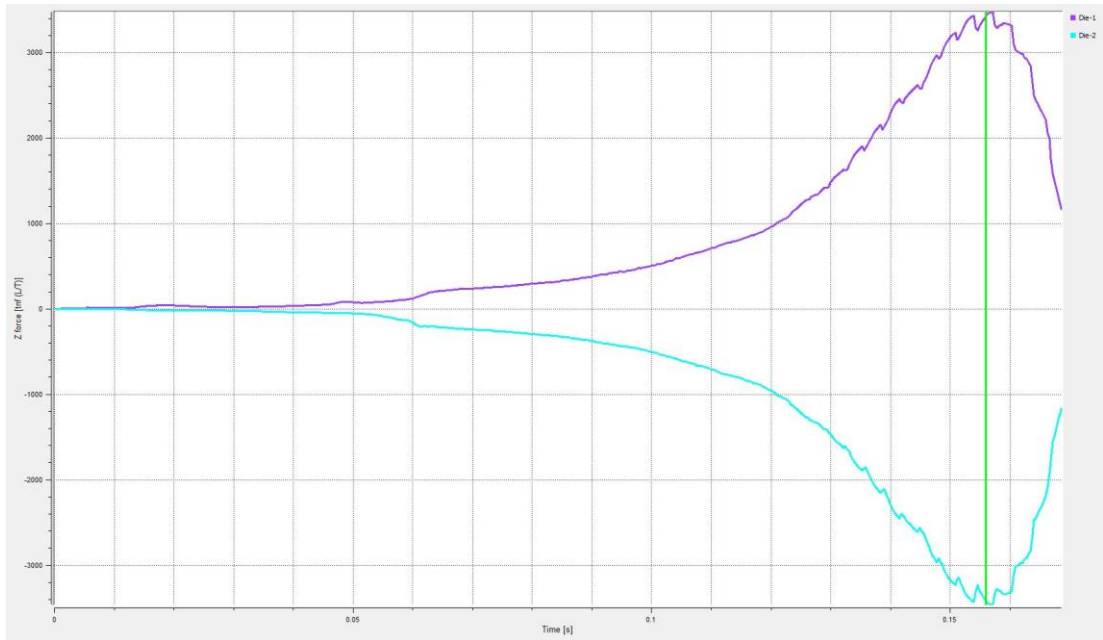


Ilustración 69: Esfuerzo "ideal" Prensa de 4000 tns en etapa de preformado. Fuente: simulador 3D.

Un valor típico de ajuste en la regulación de la prensa son 0.5 mm. En ese caso este ajuste genera un incremento de un 12% sobre el valor "ideal", elevando la presión de trabajo a un valor entre 3800 y 3900 tns; cercano al límite del equipo.

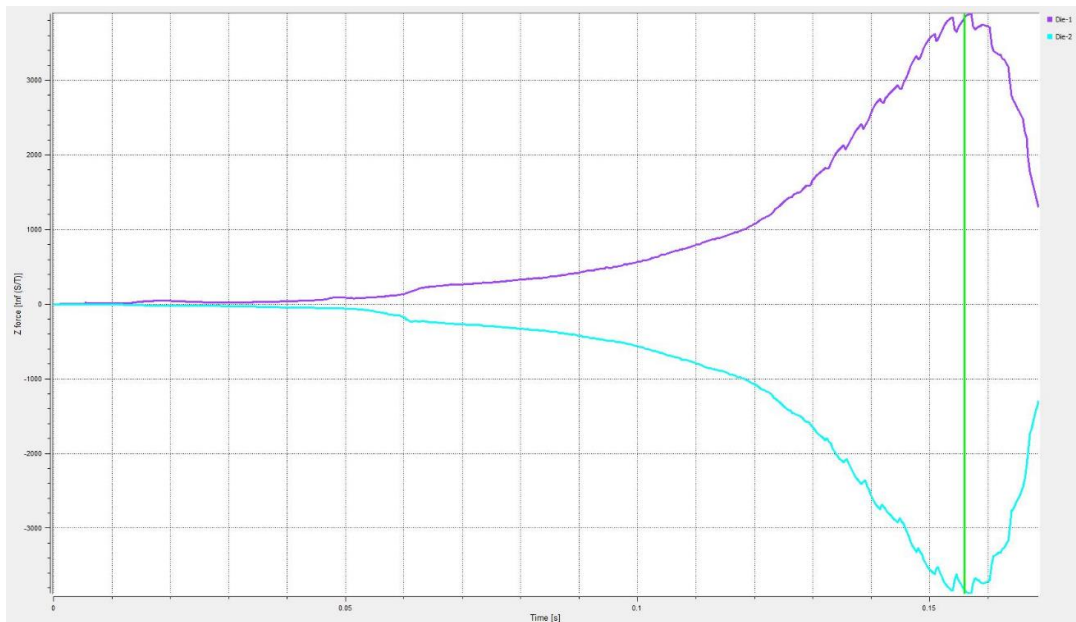


Ilustración 70: Esfuerzo "no ideal" Prensa de 4000 tns con regulación de máquina 0.5 mm en etapa de preformado. Fuente: simulador 3D

Si bien el equipo y las matrices están diseñadas para soportar tales presiones que se mantendrían dentro de las 4000 tns permitidas, con ajustes de la regulación mayores puede superarse fácilmente el límite poniendo en riesgo en principio la

integridad de las matrices, ya que son las que actuarán de “fusible” en primera instancia.

Se mencionan estos datos a fin de tener una magnitud de lo que enfrenta una matriz en cuanto a solicitaciones mecánicas, sin ahondar en el análisis fino de los mismos, ya que la finalidad de este trabajo ha sido reducir las paradas de máquina, lo que indirectamente beneficia a las condiciones mencionadas anteriormente.

3.2.2.2 SOLICITACION TERMICA

Depende de la temperatura de conformación en caliente, de la velocidad de trabajo, del tiempo de contacto de la matriz con la pieza caliente, así como también la refrigeración. Todo esto da lugar a un considerable desgaste. A esta solicitud se añade otra debida a la constante variación de temperatura, de mayor o menor duración, entre las distintas carreras de trabajo de la máquina. La superficie de la matriz se calienta debido al contacto con el material caliente, y se enfría más o menos bruscamente, según el tipo de refrigeración empleado, como por ejemplo aire, aire a presión, agua, lubricante, o mezcla de ambos. Esta variación periódica de las temperaturas en las superficies de trabajo y la irregular distribución de temperatura en la matriz, que aumenta aún más por la reducida conductibilidad térmica de los aceros aleados para trabajo en caliente, ocasiona tensiones térmicas que a lo largo de un cierto tiempo de funcionamiento pueden dar lugar a la formación de grietas.

3.2.2.3 INFLUENCIAS GENERALES

Es importante tener en cuenta que cuanto más restringidas son las tolerancias de medidas admisibles y cuanto más difíciles las formas de los productos a fabricar, tanto más se reducen los tiempos de duración de la matriz. Disminuyen también al aumentar el \varnothing del material de partida del producto a fabricar.

Otra característica cuya influencia puede ser de gran importancia, pero que no siempre se tiene suficientemente en cuenta es el estado de las máquinas utilizadas y el montaje correcto de las matrices.

Además, una elevada resistencia a la deformación del material de partida utilizado reduce el rendimiento de la matriz. Los aceros de difícil conformación y los metales no férricos dan lugar a una disminución de los tiempos de duración. Además, puede observarse una relación clara entre la superficie del material y la duración de

las matrices. La pérdida de material por rozamiento y el desgaste aumentan fuertemente cuando se trabajan materiales con oxido o cascarilla en su superficie.

Así en las piezas forjadas en caliente, la dura capa de cascarilla se pone de manifiesto creando dificultad y acelerando el desgaste de matriz. Un descascarillado correcto, que es de gran importancia para la duración, debe ser tomado en consideración antes del trabajo en caliente.

3.2.3 ANALISIS DE MATRICES DE FORJADO

El rediseño de las matrices en la zona del denominado “brazo corto”, permitirá atacar el defecto anteriormente mencionado. Esto se verá reflejado en una disminución de las paradas de maquina por código 260.

Para el análisis se utiliza el apoyo de un software de simulación 3D, el cual permite visualizar en pantalla los resultados de un proceso de forja y lo que de él se pretenda obtener.

A los fines prácticos, se hará un breve comentario de los pasos previos de simulación del proceso, previo a la etapa de preformado donde nos detendremos para el análisis del problema.

Se comienza la simulación con la etapa de rolado. El material proveniente del horno de inducción es tomado por el operario de la roladora, quien procede a ejecutar los 4 pasos destinados a estirar el material. El material de partida es de sección cuadrada de 81 mm, con una longitud de 243 mm. Esto da un equivalente de 12.060 Kg.

La disposición del proceso en la roladora es de izquierda a derecha. A continuación, se muestra la disposición de los rolos en una vista de frente. Puede apreciarse como las entradas van reduciendo la sección hasta llegar a lo deseado.

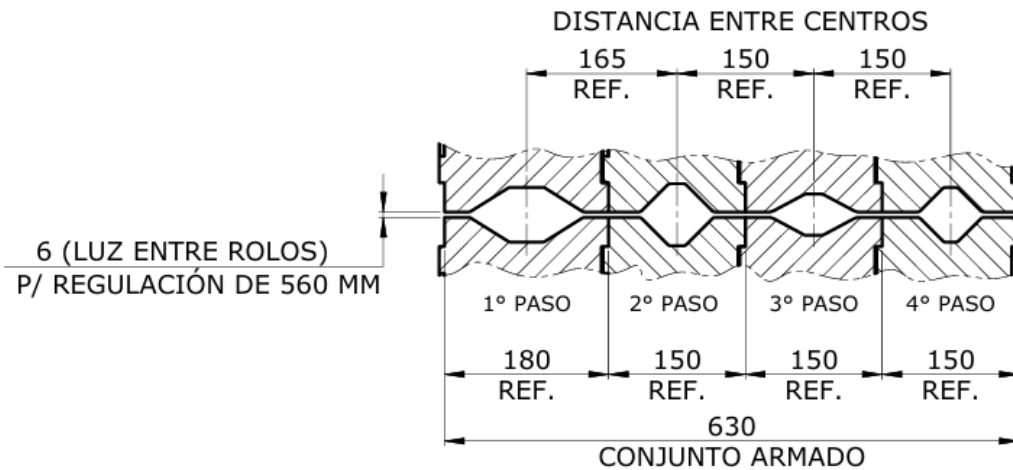


Ilustración 71: Disposición de rolos en roladora "EUMUCO RW2". Vista en corte. Fuente: elaboración propia.

Este proceso se simula en 3D con un módulo denominado "Rolling".

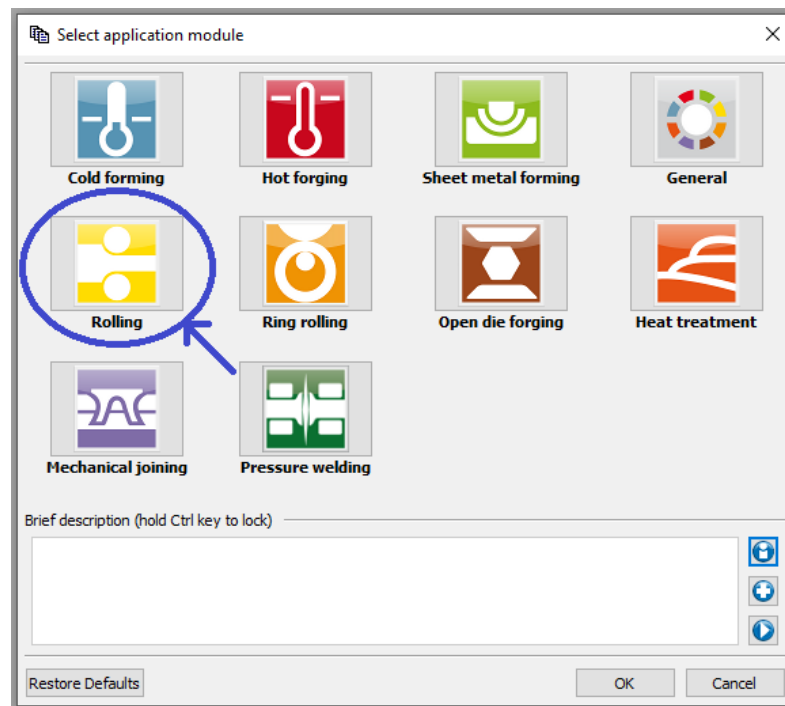


Ilustración 72: Cuadro de diálogo del simulador de forja 3D. Fuente: elaboración propia tomada de software de simulación.

Una vez procesadas las simulaciones se obtienen los resultados mostrados a continuación, paso por paso.

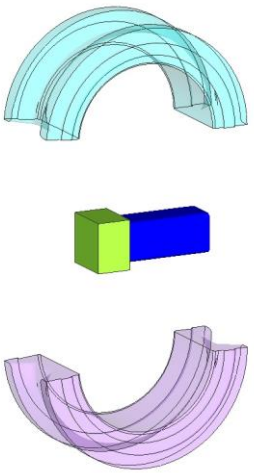
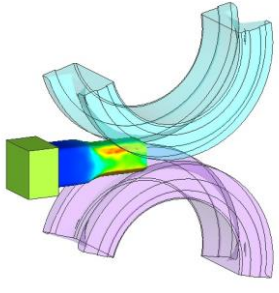
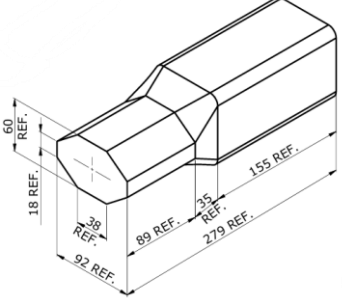
| ROLADO - 1º PASO | | |
|---|---|---|
| INICIO | FINAL | SECUENCIA OBTENIDA |
|  |  |  |

Ilustración 73: Secuencia de 1er paso de rolado. Fuente: elaboración propia.

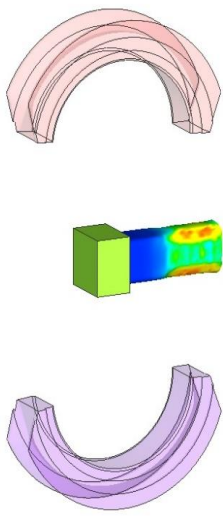
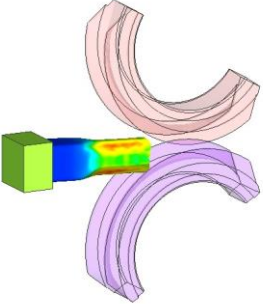
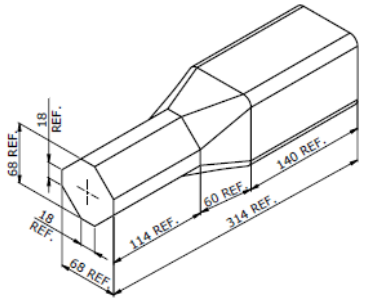
| ROLADO - 2º PASO | | |
|--|---|--|
| INICIO | FINAL | SECUENCIA OBTENIDA |
|  |  |  |

Ilustración 74: Secuencia de 2do paso de rolado. Fuente: elaboración propia.

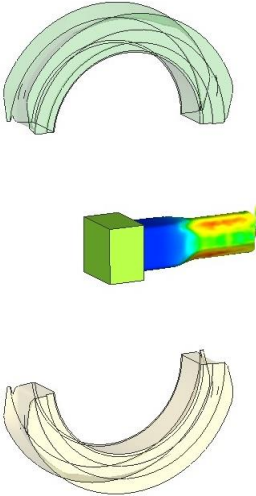
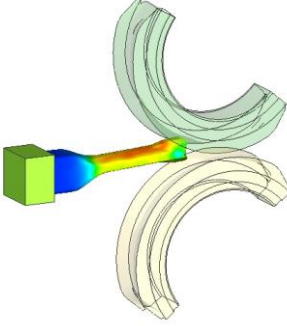
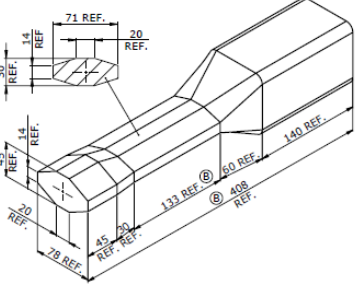
| ROLADO - 3° PASO | | |
|---|---|--|
| INICIO | FINAL | SECUENCIA OBTENIDA |
|  |  |  |

Ilustración 75: Secuencia de 3er paso de rolado. Fuente: elaboración propia.

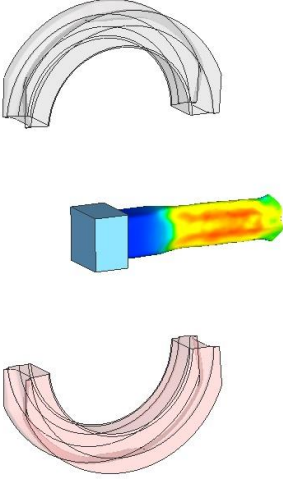
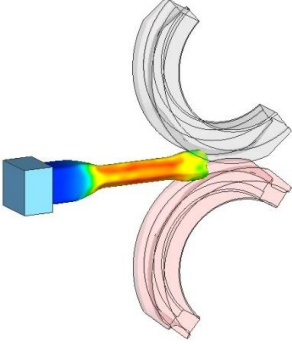
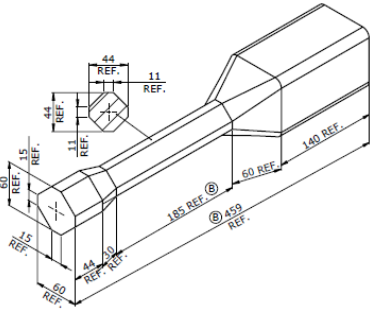
| ROLADO - 4° PASO | | |
|---|---|--|
| INICIO | FINAL | SECUENCIA OBTENIDA |
|  |  |  |

Ilustración 76: Secuencia de 4to paso de rolado. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 77: Secuencia real obtenido por rolado 1er a 4to paso (de izq. a der.). Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenida por simulación 3D la secuencia de rolado, se procede a efectuar el paso de aplastado. En esta etapa se procede a aplastar y “acomodar” el material de modo de que reciba una impronta destinada a localizar en la matriz de preformado. Además, en esta etapa se rompe la escoria que aún permanece adherida a la parte del tocho de partida que aún se mantiene virgen.

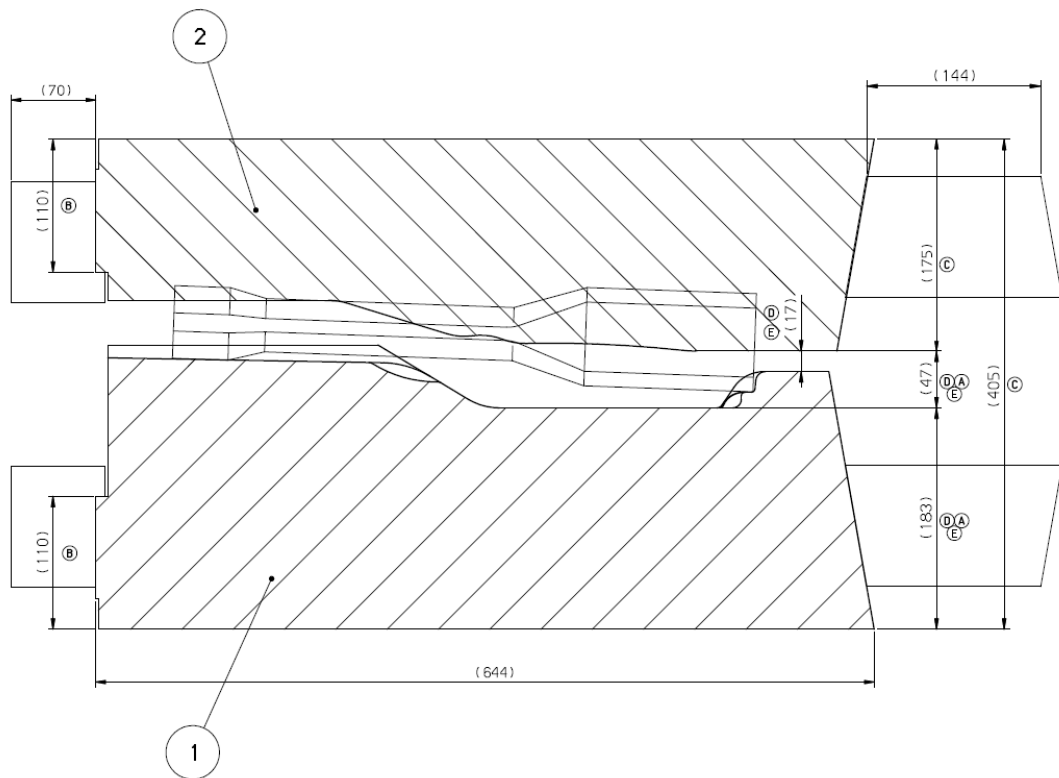


Ilustración 78: Esquema de matrices de aplastado inferior (1) y superior (2). Fuente: planos CRAFMSA.

Para simular esta etapa, en el simulador se selecciona el módulo “Hot Forming”

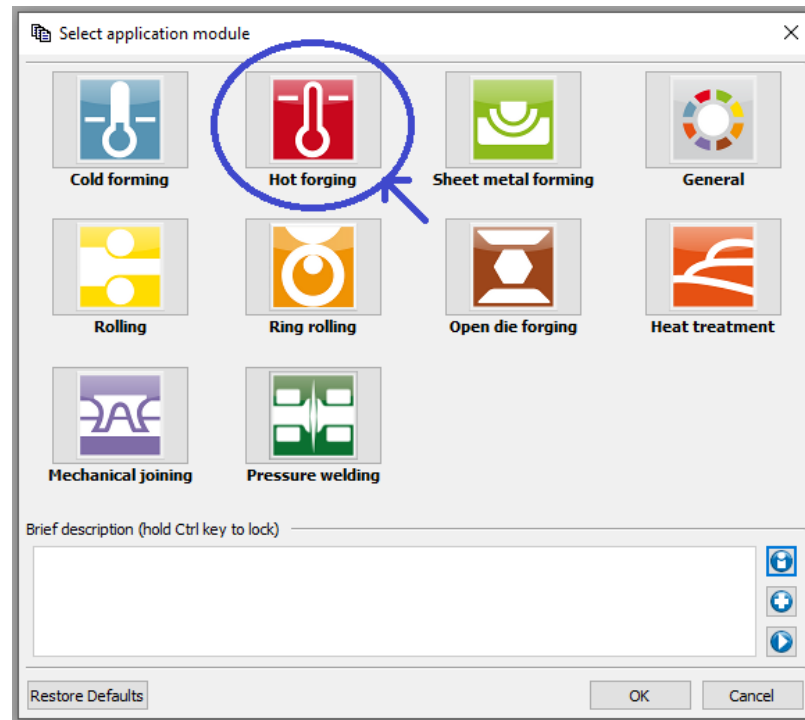


Ilustración 79: cuadro de dialogo del simulador 3D para seleccionar el tipo de forja. Fuente: elaboración propia obtenida de software 3D.

Dentro de este módulo se elige la opción “Upsetting”

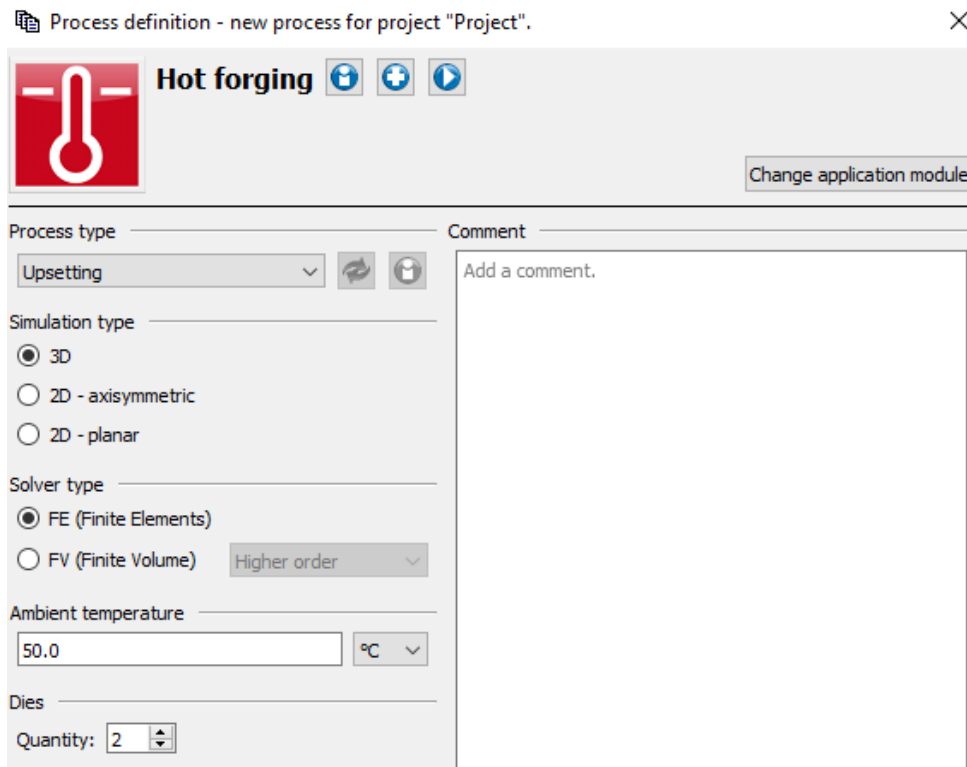


Ilustración 80: Cuadro de dialogo de software de simulación 3D para el tipo de proceso “Upsetting” del módulo “HOT FORMING”. Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

Una vez procesadas las simulaciones se obtienen los resultados mostrados a continuación:

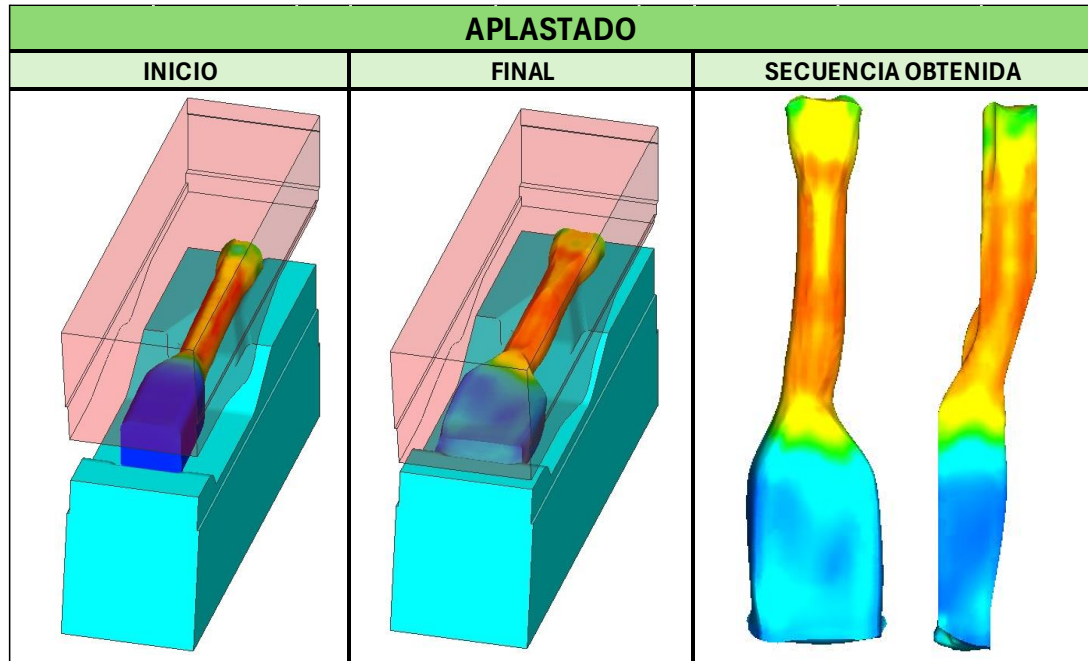


Ilustración 81: Resultados de simulación 3D del paso de "aplastado". Fuente: elaboración propia.

A modo de mejorar la visualización, la matriz superior de aplastado se ve en color transparente.

El paso posterior es la etapa de preformado, donde nos detendremos para efectuar el análisis correspondiente.

La secuencia de aplastado se localiza en el preformado de tal modo, que se obtenga la mejor distribución del volumen. Como ya se mencionó el aplastado contempla unas zonas que permiten localizarlo en esta etapa sin que se mueva.

Para la simulación de preformado, como así también para la de final, nuevamente se utiliza el módulo "Hot Forming", pero a diferencia del aplastado, en "Process type" se selecciona "Forging (general)".

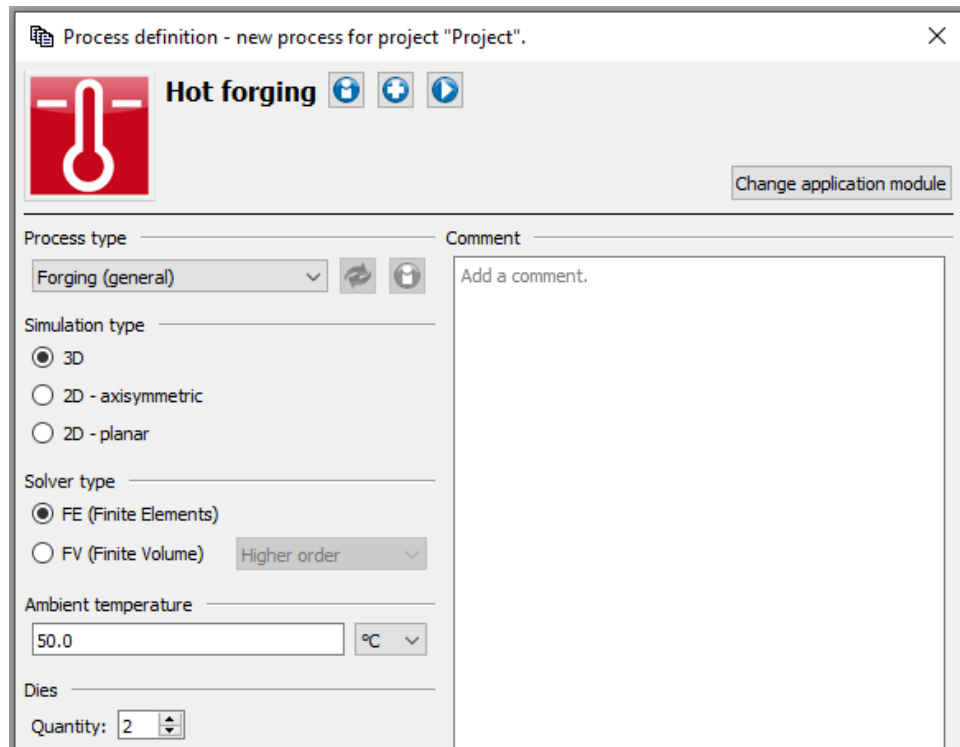


Ilustración 82: Cuadro de dialogo de software de simulación 3D para el tipo de proceso "Forging" del módulo "HOT FORMING". Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

Una vez procesadas las simulaciones se obtienen los resultados mostrados a continuación:

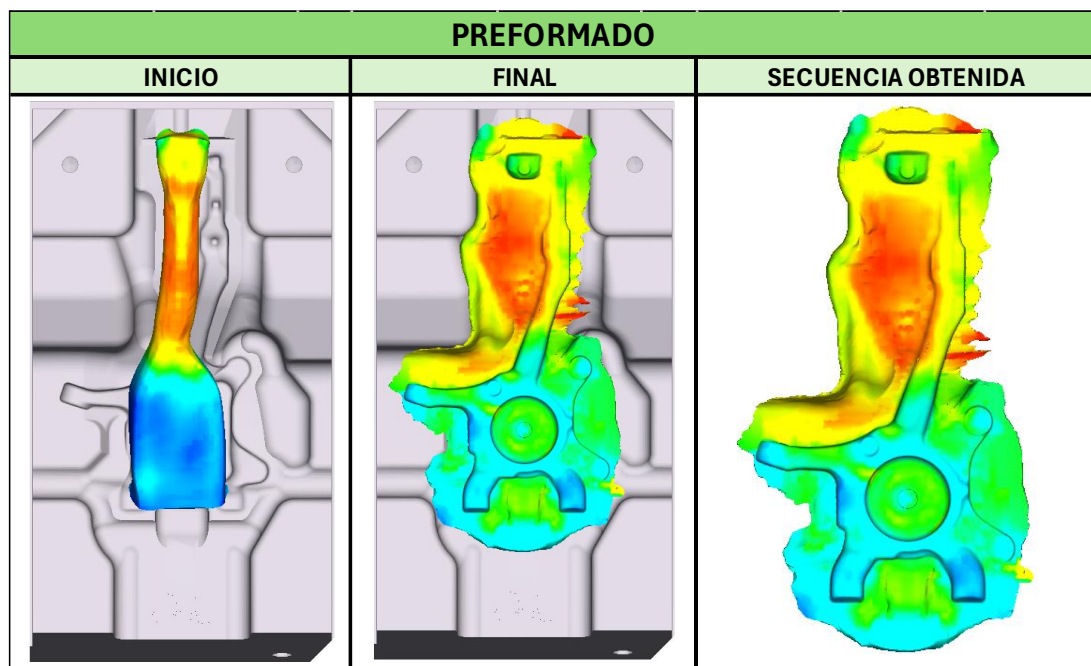


Ilustración 83: Resultados de simulación 3D del paso de "preformado". Fuente: elaboración propia.

Puede notarse claramente en la imagen de “Inicio” que la zona crítica a analizar no está cubierta por la secuencia, sino que debe “forzarse” al material a moverse para llenar esa cavidad.

De las variadas opciones de visualización de datos que posee el simulador, empezaremos analizando el proceso de deformación en la etapa de preformado con la herramienta “Material Flow”, la cual indica la velocidad del flujo del material expresada en mm/seg y el sentido a través de vectores. Además, en función de los máximos y mínimos obtenidos, el software genera automáticamente un rango, el cual será representado con colores.

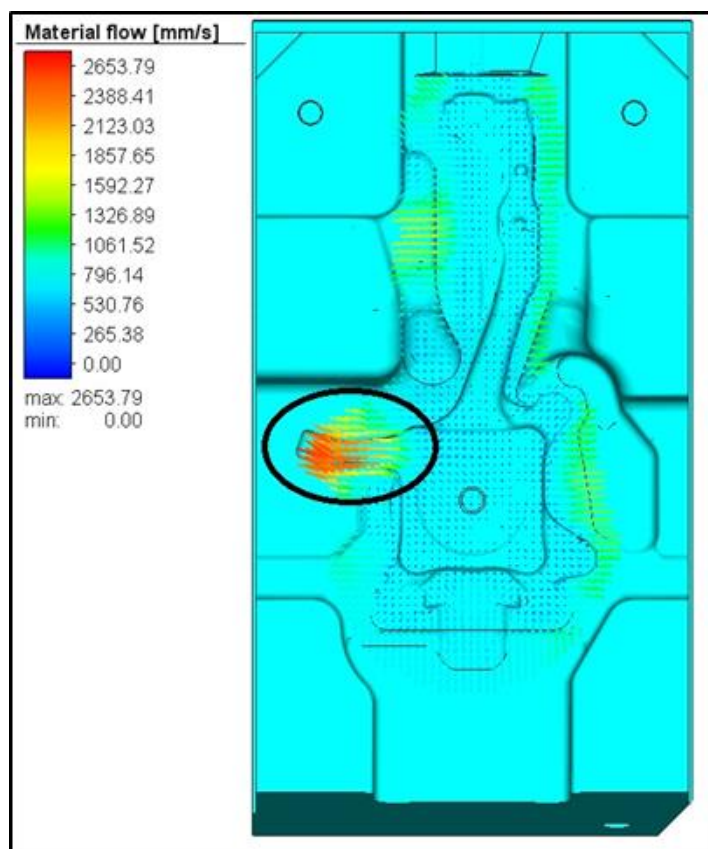


Ilustración 84: Flujo de material en etapa de preformado (vista en planta). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

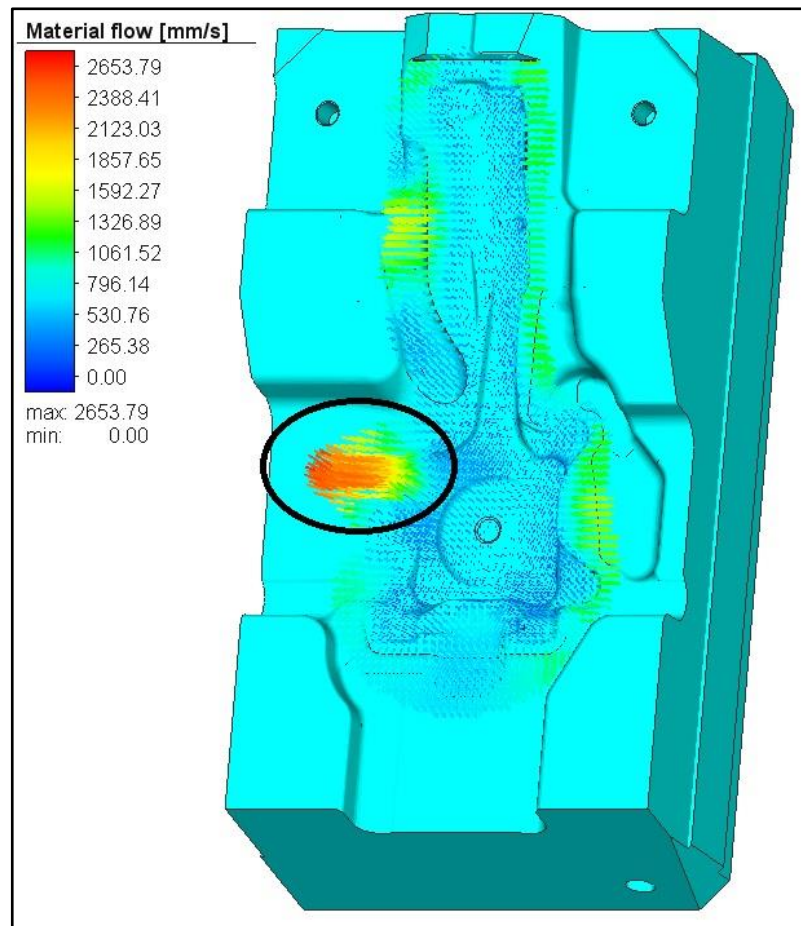
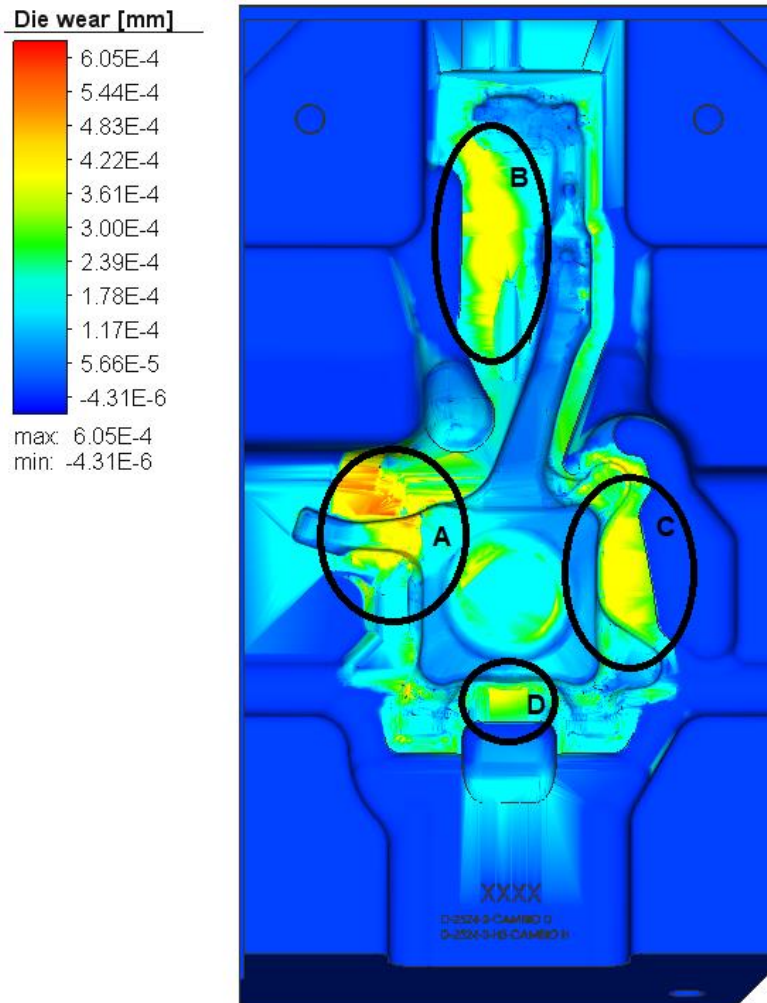


Ilustración 85: Flujo de material en etapa de preformado (vista en perspectiva). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

Se observa que, en la zona en cuestión, el material para llegar a esa zona fluye con mayor velocidad que hacia las demás zonas (ver imagen), lo que, en combinación con la temperatura, ocasiona que se erosionen las paredes de la matriz de preformado, cuya etapa es la utilizada para “acomodar” el material.

A continuación, y con el uso de la herramienta “Die Wear”, podemos observar en función de la fluencia del material, la zona más sometida a desgaste.



1-2524-Pref-Rev00-DW - Results - 3

Sub-stage: FORMING
Progress: 100.00%

Ilustración 86: Desgaste de matriz inferior de preformado por ciclo de trabajo. Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

Para la matriz inferior de preformado vemos que la zona más afectada es la zona denominada “A”, que coincide con la zona de ajuste asociada al problema. Por otra parte, también existen otras zonas solicitadas denominadas “B”, “C” y “D”, pero que no entran dentro del análisis ya que no son zonas que quedan inscriptas en la pieza, sino que son zonas de escape de rebaba, que luego se descarta en la operación de rebabado-punzonado.

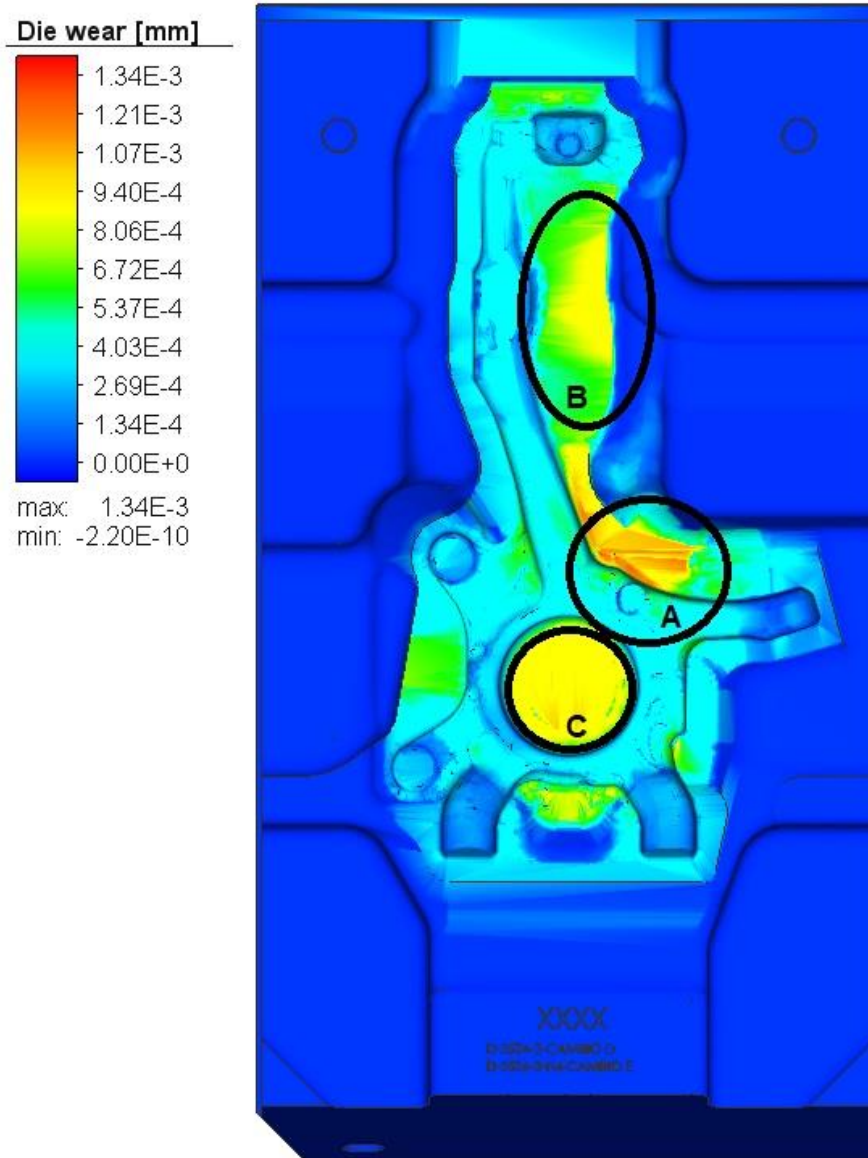


Ilustración 87: Desgaste real de una matriz inferior de preformado. Fuente: elaboración propia.

Además, bajo esta herramienta el software analiza cuanto se desgastaría la matriz por cada pieza forjada. Tomando en cuenta la gama de colores entregada por el software, vemos que en la zona en cuestión el desgaste por pieza forjada se encuentra en promedio en un valor de $4.22E-4$ mm.

Suponiendo que proyectemos este desgaste luego del forjado de 1000 piezas, este valor se convierte en 0.42 mm. Si lo calculamos para 2000 piezas, obtenemos 0.84 mm. Este valor ya es más que suficiente para que se generen pliegues en la etapa posterior de final.

Para la matriz superior de preformado, desde el software se obtiene lo siguiente:



1-2524-Pref-Rev00-DW - Results - 4

Sub-stage: FORMING
Progress: 100.00%

Ilustración 88: Desgaste de matriz superior de preformado por ciclo de trabajo. Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

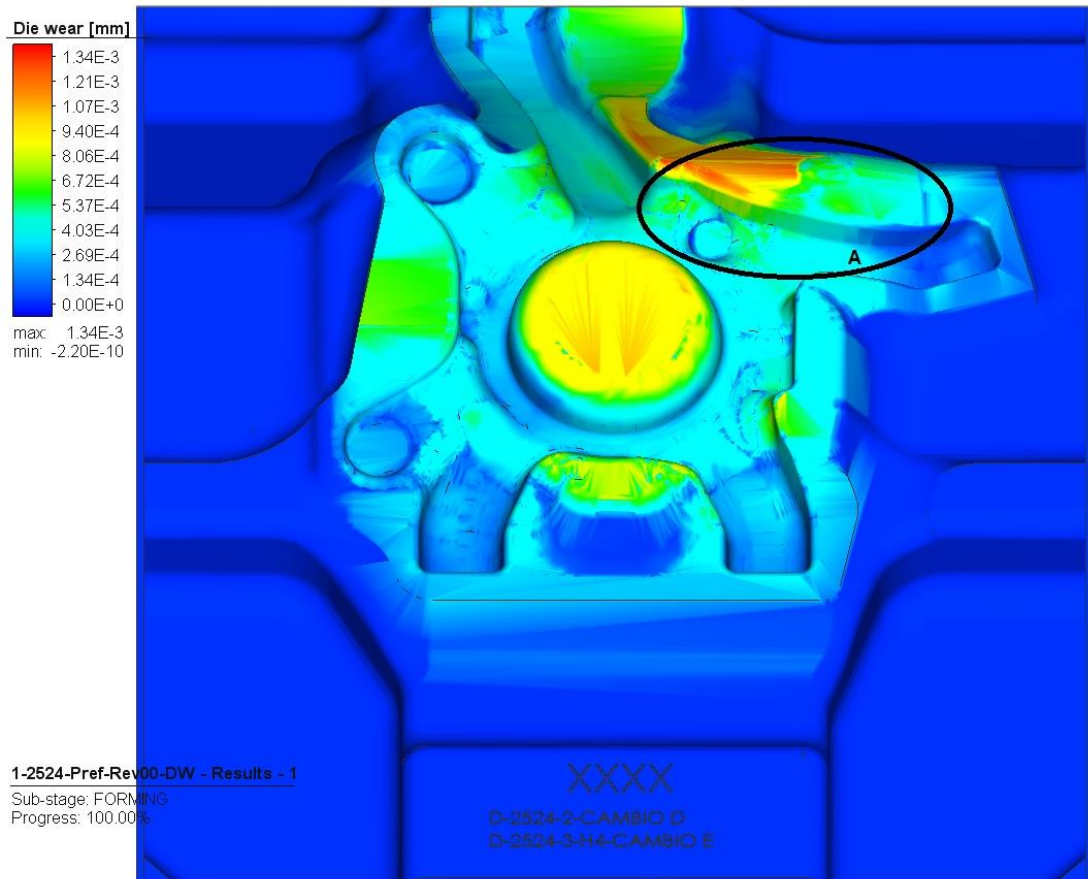


Ilustración 89: Desgaste de matriz inferior de preformado por ciclo de trabajo en zona de estudio (A). Fuente: elaboración propia obtenida de software de simulación 3D.

Aquí vemos que la zona más afectada es la zona denominada “A”, que coincide con la zona de ajuste de matriz inferior. Por otra parte, también existen otras zonas solicitadas denominadas “B” y “C”, pero que no entran dentro del análisis ya que no son zonas que quedan inscriptas en la pieza, sino que son zonas de escape de rebaba, que luego se descarta en la operación de rebabado-punzonado.

Tomando en cuenta la gama de colores entregada por el software, vemos que en la zona en cuestión el desgaste por pieza forjada se encuentra en promedio en un valor de $5.37E-4$ mm. Suponiendo que proyectemos este desgaste luego del forjado de 1000 piezas, este valor se convierte en 0.53 mm. Si lo calculamos para 2000 piezas, obtenemos 1.07 mm. Este valor ya es más que suficiente para que se generen pliegues en la etapa posterior de final. Además, en esta zona se puede observar que en la zona “A”, sobre el radio de entrada al escape de rebaba hay una coloración amarillo-naranja, lo cual eleva el desgaste a un promedio de $1.21E-3$ mm, a lo largo de 1000 piezas este valor se convierte en 1.21 mm, y a lo largo de 2000 piezas se convierte en 2.42 mm.

Generalmente las paradas para ajuste de matriz oscilan entre las 1800-2500 piezas, determinadas por el inspector de calidad de procesos, al efectuar los controles por muestreo con partículas magnetizantes. Al encontrar una novedad, alerta al supervisor y líder de producción, para que detenga el equipo y se realicen los ajustes correspondientes.



Ilustración 90: Desgaste real de matriz superior de preformado. Fuente: elaboración propia.

La fluencia del material ocasiona en la secuencia de preformado una serie de grietas o estrías, como las que se observan a continuación en las imágenes.



Ilustración 91: Marcas de desgaste en secuencia de preformado de pieza 2525. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 92: Marcas de desgaste en secuencia de preformado de pieza 2525. Fuente: elaboración propia.

En la etapa de final, la secuencia de preformado se localiza en la matriz para dar la forma final a la pieza.

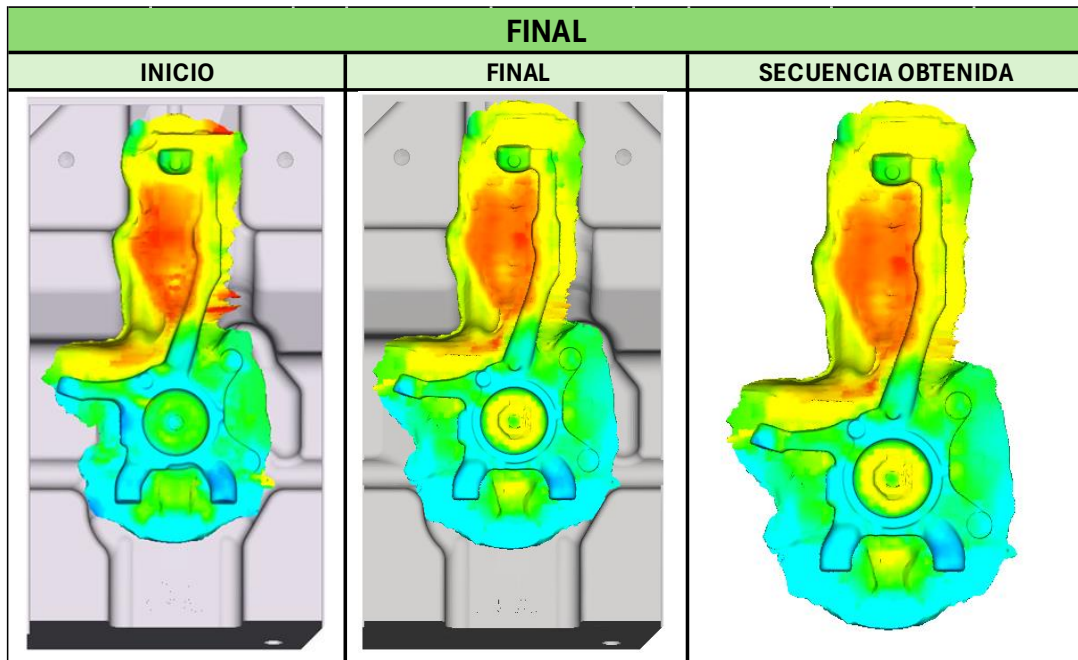


Ilustración 93: Resultados de simulación 3D del paso de "final". Fuente: elaboración propia.

Las grietas generadas en el preformado, cuando se estampan en la siguiente etapa (final), se transforman en pliegues (solapamientos de material) en la pieza final. Estos pliegues son zonas de acumulación de tensiones durante el funcionamiento del componente, lo cual puede producir su fallo y posterior rotura, poniendo en riesgo la vida de los integrantes del vehículo. Es por ello por lo que, ante la aparición de estos, debe interrumpirse la producción y efectuarse las correcciones necesarias.



Ilustración 94: Pliegue (solapamiento de material) detectado en control por partículas magnetizables. Esta pieza está en condición "NO OK". Fuente: elaboración propia.

3.2.4 ACCIONES

3.2.4.1 PROPUESTA DE MODIFICACION

Se propone como mejora que, en la construcción de la matriz inferior y superior de preformado, ya sea nueva construcción o regrabado de la misma, realizar un canal destinado a alojar un aporte de soldadura con un electrodo especial, entre cuyas características se destacan la de resistencia al desgaste y la temperatura. Este electrodo es comercialmente conocido como Stellite 21.

Entre la matriz propiamente dicha y el Stellite 21, se usa como electrodo de base el 312-16.

3.2.4.2 ELECTRODO DE APORTE STELLITE 21

El electrodo STELLITE 21 es un electrodo de revestimiento duro.

Se desarrolló a mediados de la década de 1930 como una aleación de CoCr (Cobalto—Cromo) resistente a la corrosión y rápidamente encontró aplicación como aleación biocompatible para implantes de cadera y prótesis dentales. Muchas de las aleaciones que se utilizan actualmente en aplicaciones médicas son variantes de la composición original de WL-Co21. También fue una de las primeras aleaciones resistentes al calor que se probaron para su uso en motores a reacción.

Consta de una matriz de aleación de CoCrMo (Cobalto-Cromo-Molibdeno) que contiene carburos duros dispersos que fortalecen la aleación y aumentan su dureza, pero también reducen la ductilidad. El tipo, la forma, el tamaño y la distribución de los carburos están fuertemente influenciados por el historial de procesamiento de la aleación y, por esta razón, las propiedades mecánicas del Stellite 21 dependen en gran medida de la ruta de fabricación y de cualquier tratamiento térmico posterior.

Tiene una excelente resistencia al choque térmico y mecánico. La resistencia óptima a altas temperaturas se obtiene mediante tratamientos térmicos de solución a 1200-1240 °C (2190-2265 °F) seguido de temple y envejecimiento en el rango de temperatura de 700-1150 °C (1290-2100 °F).

Los nombres comunes con los cuales se los consigue comercialmente son:

- Stellite 21,
- BISHILITE (MHA) No.21,
- Weartech WT-21
- Estándar: AWS / ASME: A5.13 / SFA5.13 ECoCr-E

Se utiliza para aplicaciones que involucran cavitación, erosión, corrosión y/o altas temperaturas, como el ajuste de válvulas para la industria petroquímica y la generación de energía, implantes de cadera biocompatibles y aleaciones para dentaduras postizas, asiento de válvula de fluido, álabes de turbina, matriz de forja en caliente, etc.

Su aplicación puede ser por los siguientes métodos:

- TIG (varilla)
- MIG (Alambre)
- Electrodo (arco eléctrico)
- Laser
- Plasma

Para el caso de este trabajo el método utilizado es por electrodo, cuya dimensión es de $\text{Ø}3.2 \text{ mm}$ ($1/8''$). En este proceso se crea un arco entre un electrodo consumible revestido y la pieza de trabajo. El núcleo metálico se funde por el arco y se transfiere al baño de soldadura en forma de gotitas fundidas. El revestimiento del electrodo también se funde para formar una protección de gas alrededor del arco y del baño de soldadura, así como una escoria en la superficie del baño de soldadura, protegiendo así el baño de soldadura enfriado de la atmósfera. La escoria debe eliminarse después de cada capa.

La soldadura manual por electrodos sigue siendo un proceso de recargue duro ampliamente utilizado. Debido al bajo costo del equipo, los bajos costos operativos del proceso y la facilidad de transporte del equipo, este proceso flexible es ideal para trabajos de reparación.

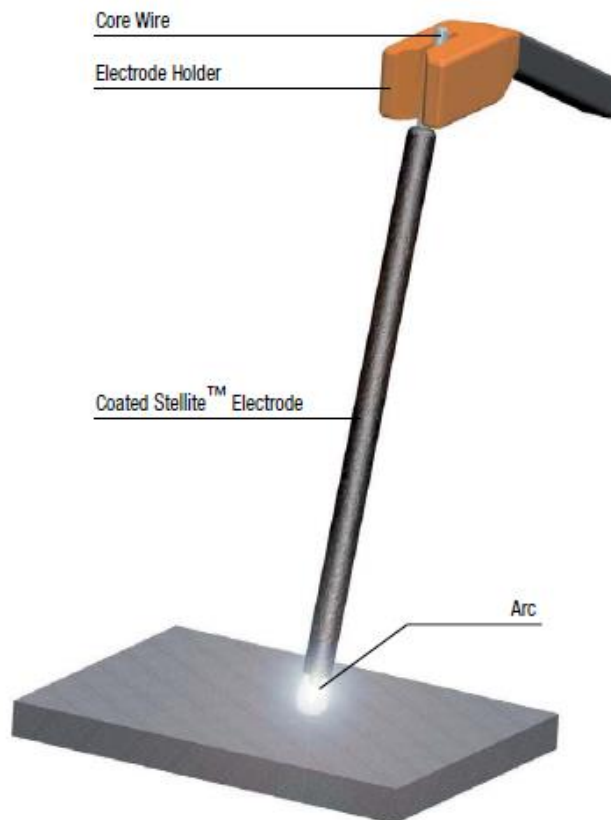


Ilustración 95: Representación de soldadura con electrodo "STELLITE". Fuente: catalogo Kennametal.

La composición química y características generales se muestran en la tabla a continuación:

| ALLOY | NOMINAL ANALYSIS OF UNDILUTED WELD METAL ⁴ | | | | | | | | Others | UNS | ASME/ AWS ⁵ | Hardness (HRC) ⁶ |
|--------------------------------------|---|----|----|------|------|------|------|------|--------|--------|---------------------------|--------------------------------|
| | Co | Cr | W | C | Ni | Mo | Fe | Si | | | | |
| COBALT-BASED ALLOY ELECTRODES | | | | | | | | | | | | |
| Stellite™ alloy 1 | Bal. | 31 | 12 | 2.45 | <3.0 | <1.0 | <3.0 | <2.0 | <1.0 | W73001 | (SFA 5.13 ECoCr-C | 51-56 |
| Stellite™ alloy 6 | Bal. | 29 | 4 | 1.2 | <3.0 | <1.0 | <3.0 | <2.0 | <1.0 | W73006 | (SFA 5.13 ECoCr-A | 39-43 |
| Stellite™ alloy 12 | Bal. | 30 | 8 | 1.55 | <3.0 | <1.0 | <3.0 | <2.0 | <1.0 | W73012 | (SFA 5.13 ECoCr-B | 45-50 |
| Stellite™ alloy 20 | Bal. | 32 | 16 | 2.45 | <3.0 | <1.0 | <3.0 | <2.0 | <1.0 | — | — | 53-57 |
| Stellite™ alloy 21 | Bal. | 28 | — | 0.25 | 3 | 5.5 | <3.0 | <1.5 | <1.0 | W73021 | (SFA 5.13 ECoCr-E | 28-40* |
| Stellite™ alloy 25 | Bal. | 20 | 14 | 0.1 | 10 | <1.0 | <3.0 | <1.0 | <1.0 | — | — | 20-45* |
| Stellite™ alloy 706 | Bal. | 30 | — | 1.2 | <3.0 | 4 | <3.0 | <1.0 | <1.0 | — | — | 39-44 |
| Stellite™ alloy 712 | Bal. | 30 | — | 1.55 | <3.0 | 8 | <3.0 | <2.0 | <1.0 | — | — | 46-51 |
| ULTIMET™ ** | Bal. | 26 | 2 | 0.06 | 9 | 5 | 3 | — | <1.0 | — | — | 28-45* |
| NICKEL-BASED ALLOY ELECTRODES | | | | | | | | | | | | |
| Nistelle™ alloy C | — | 17 | 5 | 0.1 | Bal. | 17 | 6 | — | 0.3%V | W80002 | — | 17-27* |

Ilustración 96: Composición química y características electrodo "STELLITE 21". Fuente: catalogo Kennametal.

Actualmente en CRAFMSA se utilizan 2 proveedores aprobados y con los cuales se han conseguido los mejores resultados:

- Kennametal: Stellite Alloy 21
- CTS: 680D

3.2.4.3 MODIFICACION DE PLANOS

En planos D-2524-3-H3 y D-2524-3-H4, donde se muestran las matrices de preformado inferior y superior respectivamente, bajo letra de cambio "H", se establece que en zona de brazo corto se agregan canales destinados al aporte de soldadura.

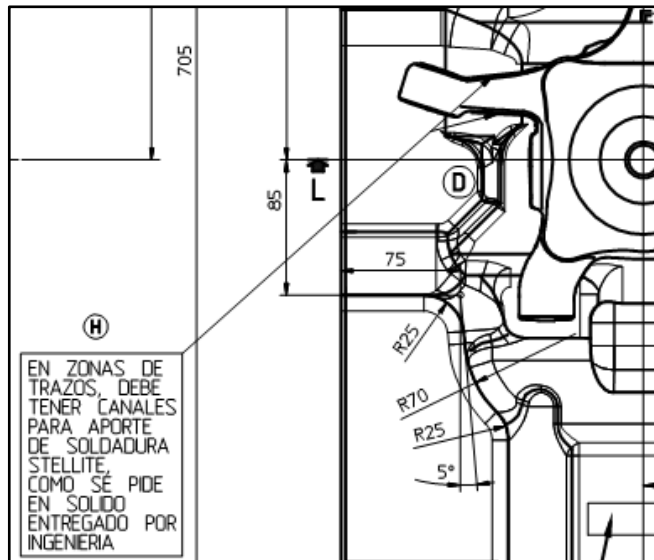


Ilustración 97: Modificación en plano 2D CRAFMSA de matrices de preformado bajo cambio "H". Fuente: planos CRAFMSA.

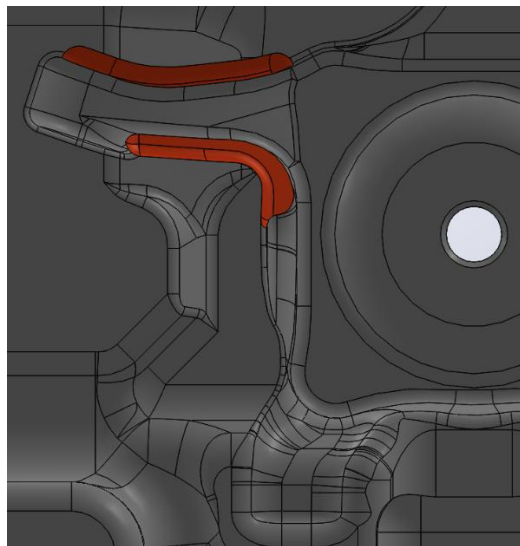


Ilustración 98: Modificación en sólido 3D de matrices de preformado. En color rojo se observa la zona destinada al aporte de electrodo Stellite 21. Fuente: elaboración propia obtenida de software de diseño.

3.2.4.4 MODIFICACION EN MATRICES EXISTENTES

Para llevar a cabo la modificación en matrices físicas, tanto para construcción nueva como para regrabados, se procede del siguiente modo:

- Regrado o construcción de nueva figura con canales de lubricación:

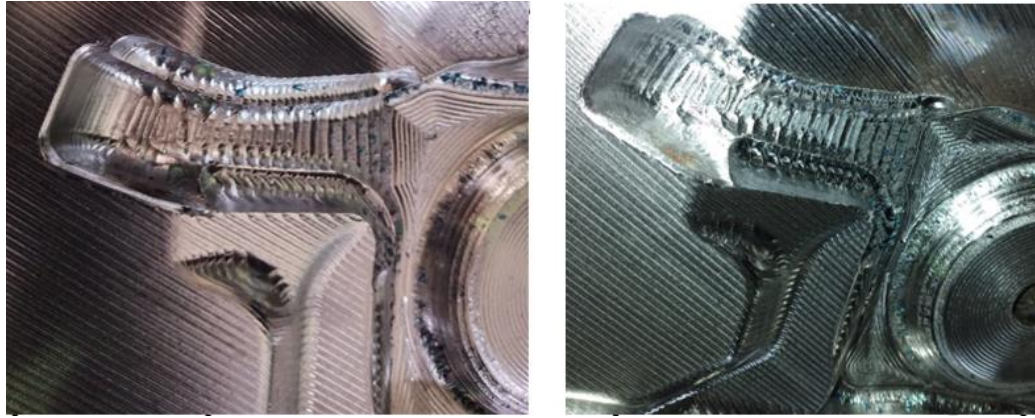


Ilustración 99: Mecanizado por fresa CNC en matrices de preformado, zona de brazo corto.
Fuente: elaboración propia.

- Aporte de soldadura con electrodo Stellite 21, en zona de canales.

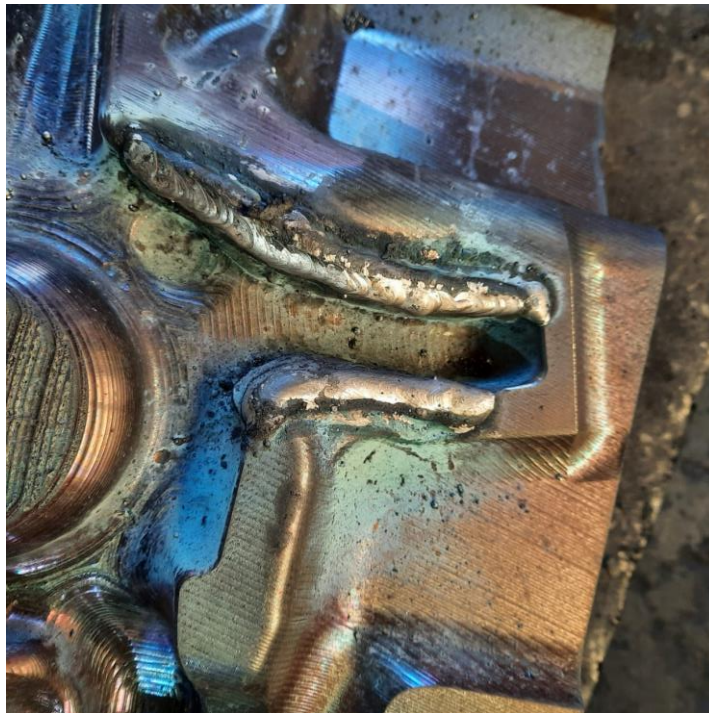


Ilustración 100: Aporte de soldadura con electrodo Stellite 21 en matriz superior de preformado de pieza 2524. Fuente: elaboración propia.

- Mecanizado de zona soldada a fin de lograr el empalme final



Ilustración 101: Mecanizado final en zona de aporte con electrodo Stellite 21. Matriz inferior (izq.) y matriz superior (der.). Fuente: elaboración propia.

CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1 GENERALIDADES

El proceso descrito en 3.2.4.4 se estandariza como proceso de construcción para los nuevos herramentales futuros. Además, se realizó en todos los herramentales existentes con vida remanente, durante la operación de regrabado de los mismos.

Esto se aplicó durante los meses de enero y febrero de 2022, tanto para el componente derecho, como para el izquierdo. Se cuenta a inicios de marzo con 8 juegos de herramentales, 4 por cada componente.

Esta cantidad es la necesaria para poder cumplir con las producciones mensuales requeridas por el cliente.

A fin de comprobar la eficacia de la mejora, se analiza el ciclo 2022 de Marzo a Diciembre de 2022.

4.1.1 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2524

Los datos sobre el total de producciones durante el ciclo de marzo a diciembre del año 2022 fueron los siguientes:

| | | | |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| Pieza | 002524F | | |
| | | | |
| | Datos | | |
| Subcategoría | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| DISPONIBILIDAD | 1238,2 | 69,2% | 69,2% |
| MANTENIMIENTO | 184,5 | 10,3% | 79,6% |
| PRODUCCION | 122,8 | 6,9% | 86,4% |
| MATRICERIA | 117,5 | 6,6% | 93,0% |
| SETUP | 113,5 | 6,3% | 99,4% |
| OTROS | 11,6 | 0,6% | 100,0% |
| Total general | 1788,1 | 100,0% | |

Ilustración 102: Resumen de producciones pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022.
Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

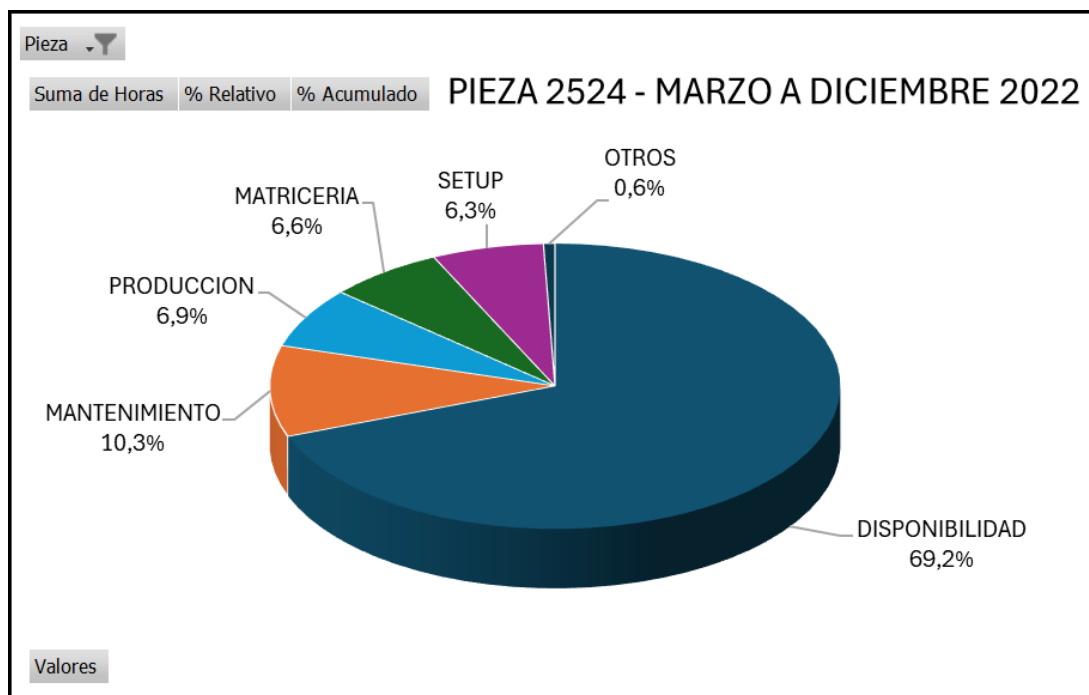


Ilustración 103: Grafico de torta con resumen de producciones de pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

La subcategoría “Disponibilidad”, corresponde al tiempo que la maquina estuvo trabajando con la pieza en cuestión. Entonces para la pieza 2524, se trabajaron 1788.1 hs, de las cuales:

- 1238,2 hs (69.2%) la maquina se encontraba “disponible”, o sea estuvo trabajando con la pieza en cuestión.
- 549,9 hs (30.8%) la maquina estuvo detenida por alguna interrupción asociada a los sectores de mantenimiento, matriceria, producción, setup, otros, etc.

El detalle de las paradas de máquina se muestra en la tabla a continuación:

| Pieza | | 002524F | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|--|
| Datos | | | | |
| Subcategoría | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado | |
| MANTENIMIENTO | 184,5 | 33,6% | 33,6% | |
| PRODUCCION | 122,8 | 22,3% | 55,9% | |
| MATRICERIA | 117,5 | 21,4% | 77,3% | |
| SETUP | 113,5 | 20,6% | 97,9% | |
| OTROS | 11,6 | 2,1% | 100,0% | |
| Total general | 549,9 | 100,0% | | |

Ilustración 104: Resumen de paradas de maquina pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFTSA.

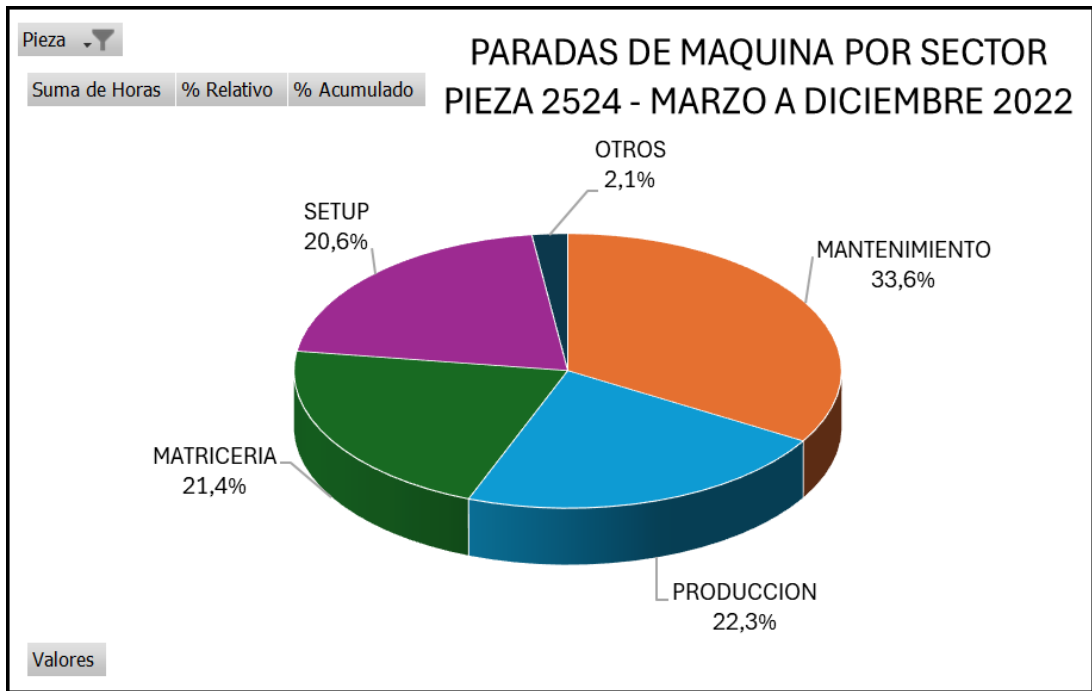


Ilustración 105: Gráfico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

Tal como se analizó en el punto 3.2.1.1, si efectuamos nuevamente el diagrama de Pareto de las horas de parada por sector, observamos que el 80% sigue correspondiendo a los sectores de mantenimiento, matricería y producción.

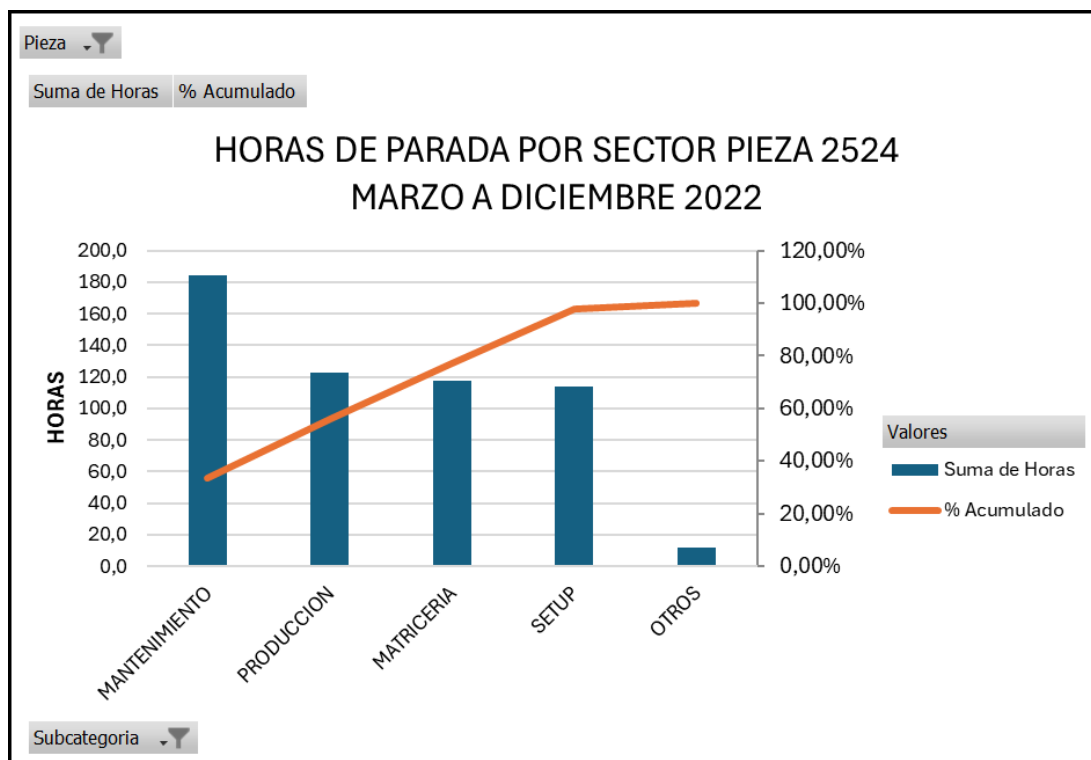


Ilustración 106: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, para las finalidades de este trabajo se toma que, en resumen, del 100% de las paradas de máquina, el 21.4% pertenece al sector de matricería.

Analizando los códigos correspondientes a este sector, se obtiene:

| Pieza | | 002524F | | |
|----------------------|---------------|----------------|-------------|--|
| Subcategoría | | MATRICERIA | | |
| Datos | | | | |
| Código | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado | |
| 260 | 38,9 | 33,1% | 33,1% | |
| 288 | 31,3 | 26,6% | 59,7% | |
| 272 | 20,3 | 17,2% | 77,0% | |
| 405 | 8,4 | 7,1% | 84,1% | |
| 425 | 7,3 | 6,2% | 90,3% | |
| 321 | 5,5 | 4,7% | 95,0% | |
| 289 | 4,8 | 4,1% | 99,1% | |
| 426 | 1,1 | 0,9% | 100,0% | |
| Total general | 117,52 | 100,00% | | |

Ilustración 107: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2524, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

Se observa que el código 260 sigue siendo el que mayores horas de parada abarca. Visualizando a través del diagrama de Pareto, se tiene:

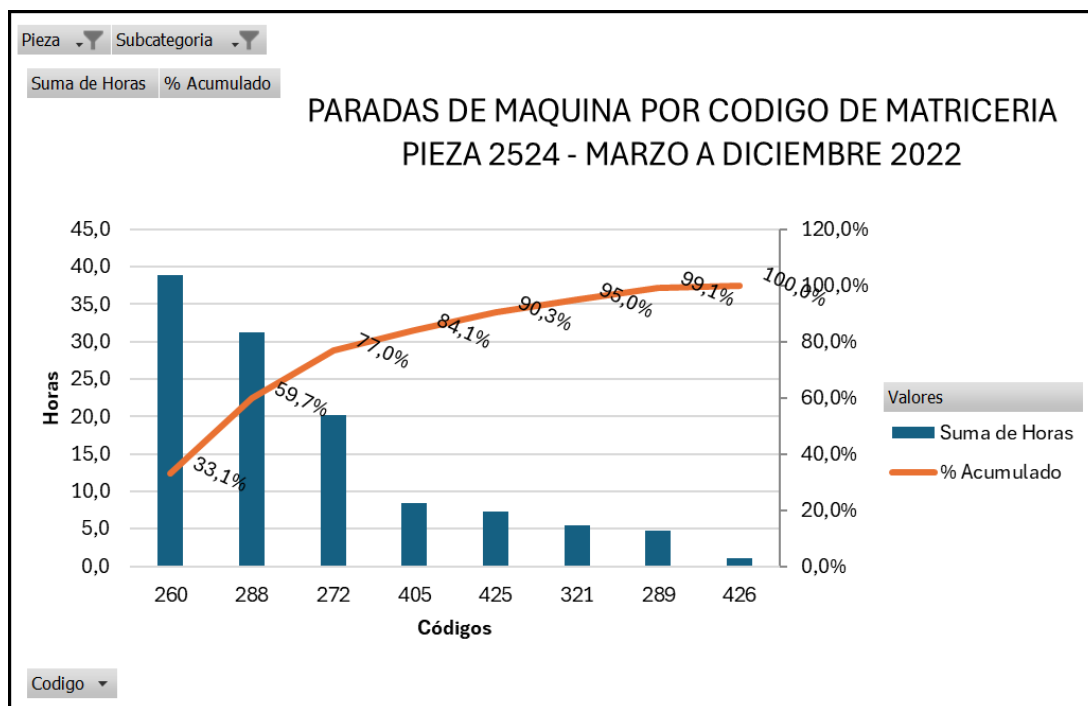


Ilustración 108: Diagrama de Pareto horas de parada de maquina por código del sector matricería pieza 2524, marzo a diciembre 2022. Fuente: elaboración propia.

Durante el ciclo 2021 el código 260 representó el 63% de las paradas de maquina por matricería.

Durante el ciclo de marzo a diciembre de 2022 el código 260 representó el 33.1% de las paradas de maquina por matricería. Esto representa una reducción del 47% de las paradas por este código.

4.1.2 PARADAS DE MAQUINA PIEZA 2525

Los datos sobre el total de producciones durante el ciclo de marzo a diciembre del año 2022 fueron los siguientes:

| | | | |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| Pieza | 002525F | | |
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| DISPONIBILIDAD | 1180,9 | 63,9% | 63,9% |
| MANTENIMIENTO | 358,2 | 19,4% | 83,3% |
| PRODUCCION | 122,4 | 6,6% | 89,9% |
| SETUP | 105,2 | 5,7% | 95,6% |
| MATRICERIA | 79,0 | 4,3% | 99,9% |
| OTROS | 2,8 | 0,1% | 100,0% |
| Total general | 1848,4 | 100,0% | |

Ilustración 109: Resumen de producciones pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022.
Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

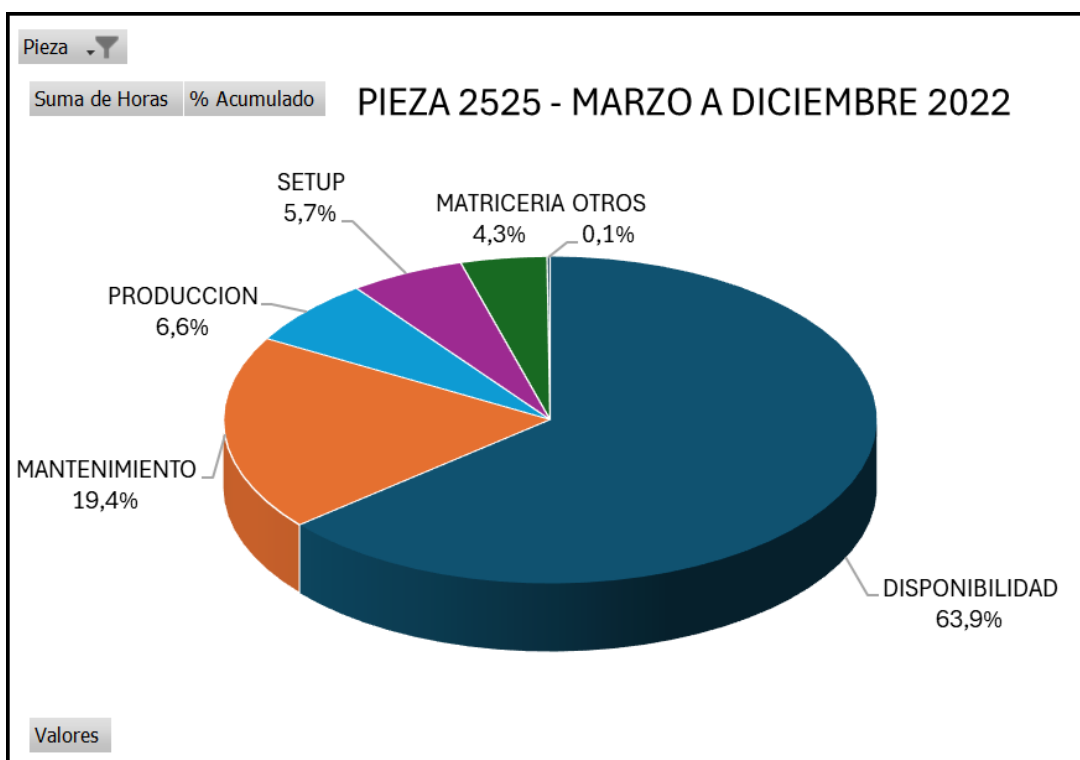


Ilustración 110: Gráfico de torta con resumen de producciones de pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

Para este componente se trabajaron 1848,4 hs durante el año 2022, de las cuales:

- 1180,9 hs la maquina se encontraba “disponible”, trabajando con la pieza en cuestión
- 667,5 hs la maquina estuvo detenida por alguna interrupción asociada a los sectores de Mantenimiento, producción, setup, matricería, etc.

El detalle de las paradas de maquina es el siguiente:

| | | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|
| Pieza | 002525F | | |
| Datos | | | |
| Subcategoria | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado |
| MANTENIMIENTO | 358,2 | 53,7% | 53,7% |
| PRODUCCION | 122,4 | 18,3% | 72,0% |
| SETUP | 105,2 | 15,8% | 87,8% |
| MATRICERIA | 79,0 | 11,8% | 99,6% |
| OTROS | 2,8 | 0,4% | 100,0% |
| Total general | 667,5 | 100,0% | |

Ilustración 111: Resumen de paradas de maquina pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

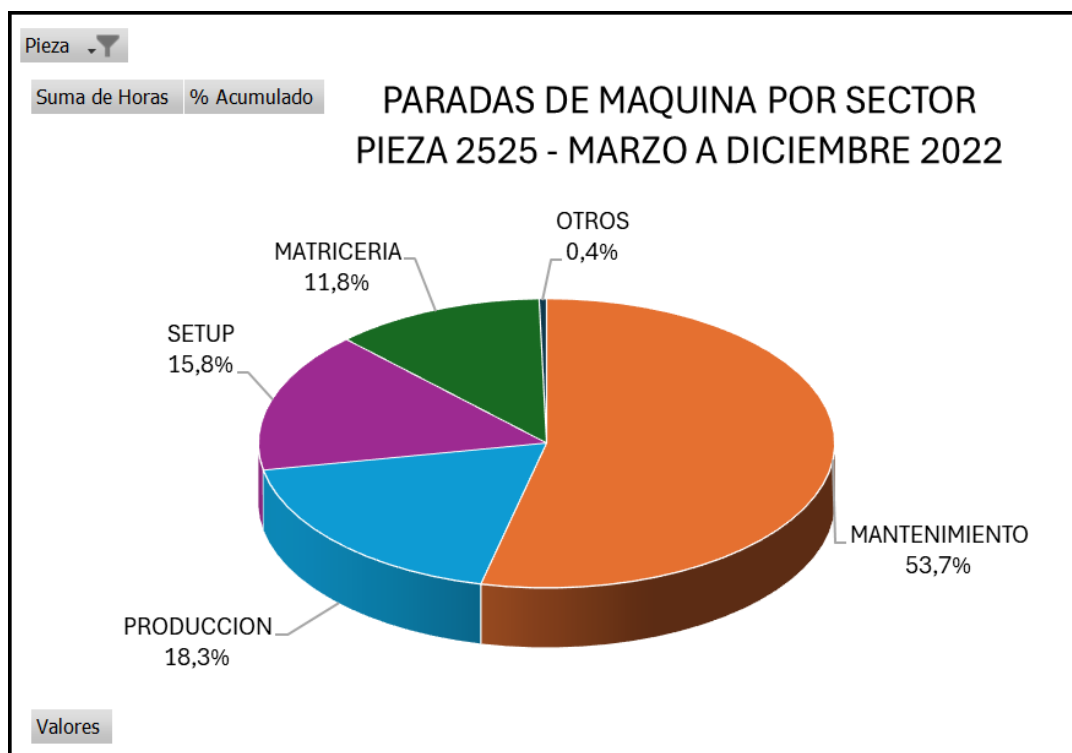


Ilustración 112: Grafico de torta con resumen de paradas por sector pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

Efectuando el diagrama de Pareto de las horas de parada por sector observamos que el 80% corresponden a los sectores de mantenimiento, producción y setup. Contrario al ciclo 2021, el sector de matriceria queda fuera de este porcentaje.

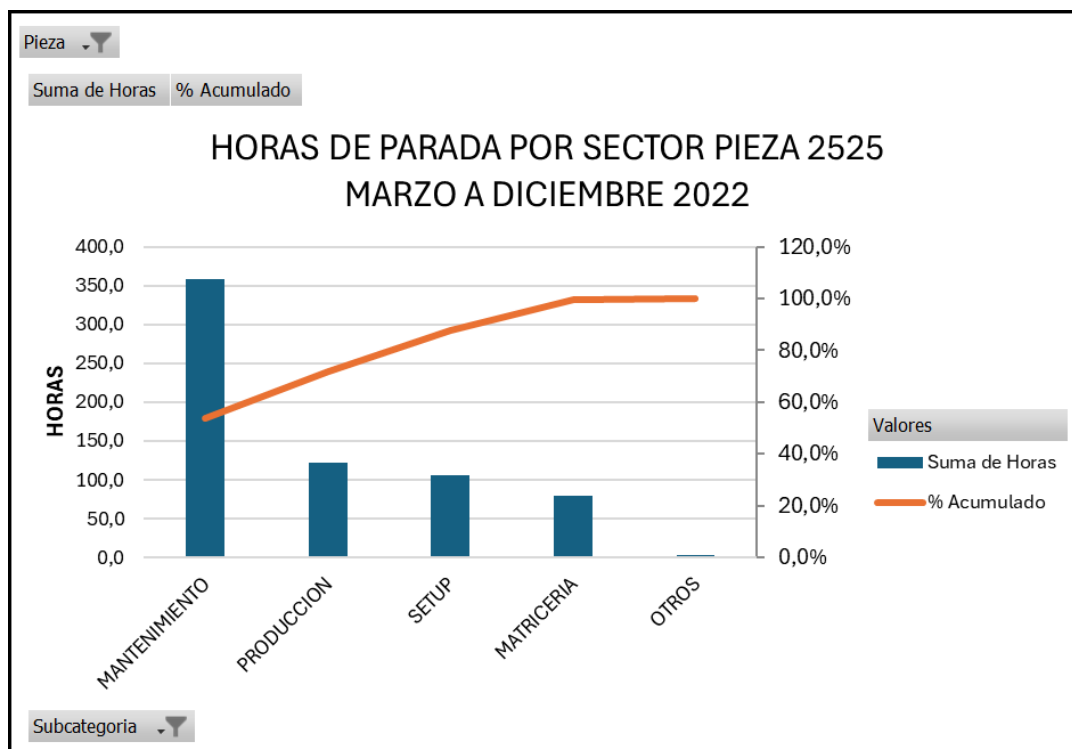


Ilustración 113: Diagrama de Pareto con horas de parada por sector, pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, para las finalidades de este trabajo se toma que, en resumen, del 100% de las paradas de máquina, el 11,8% pertenece al sector de matricería.

Abalizando los códigos correspondientes a este sector, se tiene:

| Pieza | 002525F | | | |
|---------------|---------------|------------|-------------|--|
| Subcategoría | MATRICERIA | | | |
| Datos | | | | |
| Código | Suma de Horas | % Relativo | % Acumulado | |
| 260 | 29,3 | 37,1% | 37,1% | |
| 288 | 21,8 | 27,6% | 64,7% | |
| 412 | 9,65 | 12% | 76,9% | |
| 321 | 5,8 | 7,3% | 84,2% | |
| 405 | 5,2 | 6,6% | 90,8% | |
| 272 | 4,0 | 5,1% | 95,9% | |
| 404 | 2,43 | 3% | 99,0% | |
| 289 | 0,8 | 1,0% | 100,0% | |
| Total general | 78,97 | 100,00% | | |

Ilustración 114: Resumen de códigos de parada por el sector de matricería, pieza 2525, marzo a diciembre del año 2022. Fuente: sistema informático de gestión CRAFMSA.

Se observa que el código 260 sigue siendo el que mayores horas de parada abarca. Visualizando a través del diagrama de Pareto, se tiene:

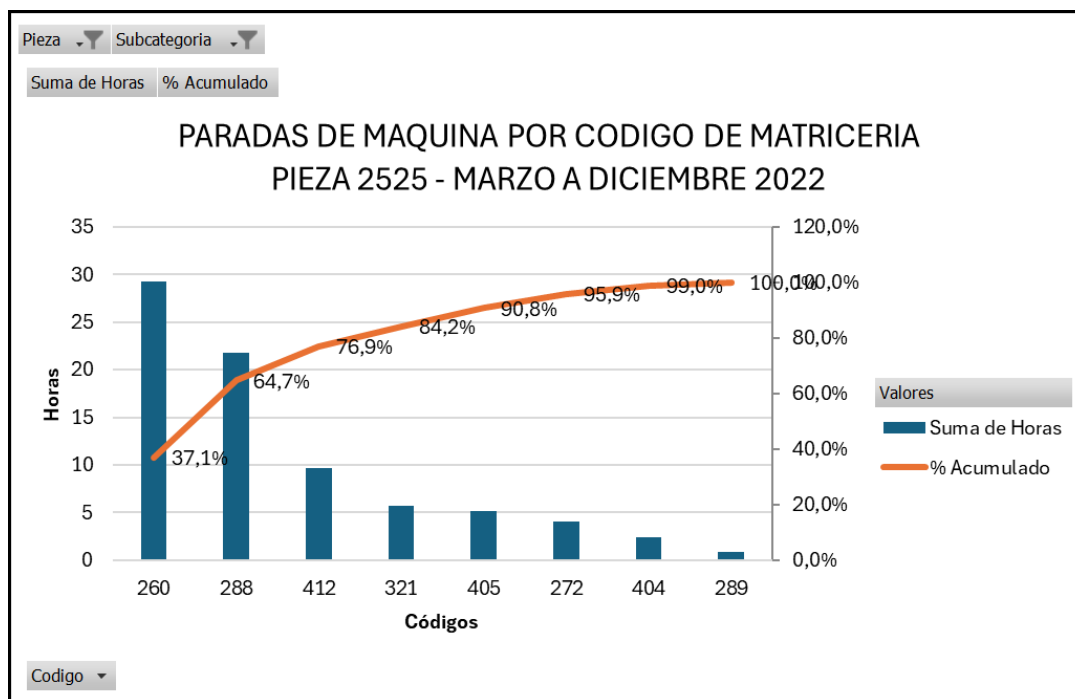


Ilustración 115: Diagrama de Pareto horas de parada de máquina por código del sector matricería pieza 2525, marzo a diciembre 2022. Fuente: elaboración propia.

Observamos en este periodo también que el código 260, sigue siendo el de mayor porcentaje de parada. Pero en comparación al ciclo 2021, se redujo del 72.6% al 37.1% del total. Generando una mejora de un 49%.

Si hubiésemos tenido el mismo % de paradas que en el ciclo 2021, la máquina hubiera estado detenida 70 hs por este código.

4.2 PONDERACION DE LA MEJORA

En función de los datos obtenidos del capítulo 3, en los puntos 3.2.1.1 y 3.2.1.2 para el año 2021, y los obtenidos de los puntos 4.1.1 y 4.1.2 del presente para el año 2022, se muestran los resultados de reducción de las paradas de máquina por ajuste de matriz, código 260.

Para mayor claridad de los resultados, se muestran los resultados analizando el código 260 como % de parada de la totalidad de horas disponibles para los distintos ciclos.

4.2.1 PIEZA 2524

| PIEZA 2524 | | | | |
|------------|----------|-------------------------|---------------------------------|-----------|
| CICLO | HORAS DA | HORAS PARADA CODIGO 260 | % PARADAS DE MAQUINA CODIGO 260 | REDUCCION |
| 2021 | 1666,2 | 97,1 | 5,8% | 62,7% |
| 2022 | 1788,1 | 38,9 | 2,2% | |

Ilustración 116: Reducción de paradas de maquina por código 260 (ajuste de matriz) pieza 2524. Año 2022 Vs 2021. Fuente: elaboración propia.

La mejora efectuada permitió reducir un 62.7% las paradas de maquina por ajuste durante el ciclo de marzo a diciembre de 2022.

Esta reducción podemos expresarla también en cantidad de piezas, bajo el supuesto que en el ciclo 2022 el % de paradas hubiera sido similar al del ciclo 2021.

| PIEZA 2524 | | | | | | |
|------------|----------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|--|
| CICLO | HORAS DA | % PARADAS SUPUESTO CODIGO 260 | HORAS PARADA SUPUESTO CODIGO 260 | HORAS PARADAS REALES | DIFERENCIA HORAS | GANANCIA EN CANTIDAD DE PIEZAS (std 130 piezas/hr) |
| 2022 | 1788,1 | 5,8% | 103,7 | 38,9 | 64,8 | 8425 |

Ilustración 117: Ganancia en cantidad de piezas por reducción de código 260 (ajuste de matriz) pieza 2524. Año 2022. Fuente: elaboración propia.

En resumen, durante 2022 se obtiene una diferencia de 64.8 horas de parada, lo que representa el equivalente a una producción de 8425 piezas para un std de 130 piezas/hora, o expresado de otro modo 2.7 días de trabajo, ó 8.1 turnos de producción de 8 horas c/u.

4.2.2 PIEZA 2525

| PIEZA 2525 | | | | |
|------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------|
| CICLO | HORAS DISPONIBLES | HORAS PARADA CODIGO 260 | % PARADAS DE MAQUINA CODIGO 260 | REDUCCION |
| 2021 | 1572,4 | 151,6 | 9,6% | 83,6% |
| 2022 | 1848,4 | 29,3 | 1,6% | |

Ilustración 118: Reducción de paradas de maquina por código 260 (ajuste de matriz) pieza 2525. Año 2022 Vs 2021. Fuente: elaboración propia.

La mejora efectuada permitió reducir un 83.6% las paradas de maquina por ajuste.

| PIEZA 2525 | | | | | | |
|------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------|--|
| CICLO | HORAS DISPONIBLES | % PARADAS SUPUESTO CODIGO 260 | HORAS PARADA SUPUESTO CODIGO 260 | HORAS PARADAS REALES | DIFERENCIA HORAS | GANANCIA EN CANTIDAD DE PIEZAS (std 130 piezas/hr) |
| 2022 | 1848,4 | 9,6% | 177,4 | 29,3 | 148,1 | 19259 |

Ilustración 119: Ganancia en cantidad de piezas por reducción de código 260 (ajuste de matriz) pieza 2525. Año 2022. Fuente: elaboración propia.

Bajo el mismo supuesto que en 4.2.1, se obtiene durante 2022 una diferencia de 148.1 horas de paradas, lo que representaría el equivalente a una producción de 19259 piezas, 6.2 días de trabajo, ó 18.5 turnos de producción de 8 horas c/u.

4.2.3 IMPACTO DE LA MEJORA EN EL MECANIZADO DE LAS MATRICES

4.2.3.1 MECANIZADO DE MATRICES Y CONSUMO DE ELECTRODOS

A continuación, se detallarán el antes y después de las operaciones de matricería por el agregado del mecanizado y aporte de soldadura en las matrices.

Previo a la propuesta de modificación se tenía de tiempos de mecanizado:

- 30 hs para la matriz inferior de preformado
- 33 hs para la matriz superior de preformado

Por la modificación se adicionan al mecanizado los siguientes tiempos (por matriz)

- 40' = 0.7 hs para el mecanizado de canales destinados a la soldadura
- 90' = 1.5 hs para el aporte de soldadura (incluye el calentamiento de la zona, que es la mayor parte del tiempo empleado)
- 45' = 0.8 hs para una nueva puesta a punto de la fresa CNC
- 1 hs para el mecanizado de la zona con aporte

Esto representa un total adicional de 4 hs por matriz, quedando en total:

- 34 hs para la matriz inferior de preformado
- 37 hs para la matriz superior de preformado

El consumo de electrodos es el siguiente:

- 0.180 Kg en matriz inferior de preformado

- 0.230 Kg en matriz superior de preformado

Teniendo un consumo total de 0.410 Kg por juego de matrices.

En el costo total de fabricación de la pieza tanto por el mecanizado como por el aporte de soldadura se produce un incremento del costo de un 0.5%.

Este 0.5% es prácticamente insignificante, esto se debe a que el sobrecosto se prorratea por la cantidad total de piezas que se pueden obtener por grabado de matriz (mínimo 7000 piezas). Esta suba en comparación con la reducción de paradas de maquina mostrada en 4.2.1 y 4.2.2 es considerada por la empresa como despreciable, incluso al punto de mantener el precio de la pieza descontando la suba de la rentabilidad que obtiene de la misma.

No se expresan los valores de la matriceria ni de la pieza por cuestiones de confidencialidad, solo se expresa en porcentajes, los cuales son obtenidos de la cotización del producto.

Como resumen final obtenemos lo siguiente:

| MATRIZ | Hrs MECANIZADO PRE-MEJORA | Hrs MECANIZADO POST-MEJORA | CONSUMO DE ELECTRODOS PRE-MEJORA (Kg) | CONSUMO DE ELECTRODOS POST-MEJORA (Kg) | IMPACTO EN EL COSTO DE LA PIEZA |
|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|
| M. PREF. INF. | 30 | 34 | 0 | 0,180 | + 0,5% |
| M. PREF. SUP. | 33 | 37 | 0 | 0,230 | |

Ilustración 120: % de aumento en el costo de la pieza por mecanizado de alojamiento y aporte con electrodo. Fuente: elaboración propia.

4.2.4 IMPACTO DE LA MEJORA EN EL ESFUERZO SOBRE LAS MATRICES

El esfuerzo sobre las matrices para una matriz nueva y una con aporte por stellite, no genera diferencia de la presión necesaria para deformar, que indefectiblemente también es soportada por las mismas. Esto influye solamente para los casos expuestos en 3.2.2.1 (pre-mejora).

CAPITULO 5: ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

A fin de analizar brevemente el impacto ambiental y ergonómico que la mejora tiene para el proceso en cuestión, se genera una tabla comparativa del desempeño de la mejora propuesta vs la condición original.

| FACTOR AMBIENTAL | PROCESO PRE-MEJORA (EN PREFORMADO) | PROCESO POST-MEJORA (EN PREFORMADO) |
|---|--|--|
| ERGONOMIA | Personal incomodo, exceso de esfuerzo para despegar pieza de matriz superior | Mejor que el proceso original, se reducen enganches de pieza |
| FACILIDAD DE MANIPULACION | Regular | Buena |
| SEGURIDAD DEL OPERADOR | Inseguro | Segura |
| SEGURIDAD DEL AJUSTADOR | Inseguro | Inseguro |
| ESTRÉS TERMICO DEL AJUSTADOR | Alto | Bajo |
| DESECHOS DE MATERIAL POR CONSTRUCCION | El del proceso convencional | Minimamente superior |
| DESECHOS INDUSTRIALES POR MATERIALES DE DESCARTE (REBABAS Y PIEZAS SCRAP) | El del proceso convencional | El del proceso convencional |
| N° REGRABADO DE MATRICES | 5 | 5 |
| CONSUMO DE LUBRICANTE | Medio | Normal |
| DESECHOS INDUSTRIALES DE LUBRICANTE | Medio | Normal |

A la hora de evaluar las condiciones no solo se consideró los factores que impactan negativamente al ambiente referenciados a la contaminación, sino que se incluye lo denominado “ambiente laboral” que engloba a las relaciones laborales y condiciones de trabajo del operario de una máquina determinada. Se incluyen factores como ergonomía, seguridad, etc.

Por la parte de “ERGONOMIA”, se califica en función de que al generarse grietas en la matriz la pieza forjada tiende a quedarse enganchada. Esto genera que las extracciones propias de la maquina no logren expulsarla, obligando al operador a realizar un esfuerzo adicional con la pinza de manipulación para despegarla. Este esfuerzo también se torna inseguro, al margen de que se toman los recaudos necesarios antes de realizar estos esfuerzos.

Si bien los “enganches” se producen por varias causas siendo la principal la infiltración de material en el alojamiento de los pernos extractores, o la falla de la extracción del equipo, las fisuras agravan aún más la situación. La mayor incomodidad se produce cuando la pieza queda enganchada en la matriz superior, por lo que la primera acción del operador es lubricar excesivamente la misma para evitarlo, generando una alteración en el consumo de lubricante.

El consumo de lubricante no se puede estimar correctamente, debido a que la operación es 100% manual, a través de una “pistola” de lubricación donde por medio del accionamiento de un gatillo, se produce la proyección de aire a presión y una mezcla de agua-grafito. El tiempo de aplicación lo maneja netamente el operador, siendo sujeto a la experiencia de este. Sí es cierto que, al no tener inconvenientes en el proceso, el operador ejecuta un barrido simple sobre la figura de la pieza en la matriz, sin excesos. Cabe destacar también que no es finalidad de este trabajo medir la cantidad aplicada o el ahorro de este, ya que como se menciona a continuación hay múltiples causas por las que la pieza puede engancharse.

La seguridad del ajustador sigue siendo la misma, solo se reduce su tiempo de exposición o dicho de otro modo la cantidad de intervenciones. Ya sea por las fisuras en la zona en estudio o por cualquier otra razón el ajustador opera en la misma posición. Nuevamente cabe destacar que la razón de este trabajo no consiste en mejorarla.

Los desechos por rebabas siguen siendo los mismos. Los desechos por scrap de pieza aumentan al tener las mismas con fisuras detectadas en la operación de inspección final. Por lo tanto, con la mejora en la etapa de preformado, indirectamente se reduce el scrap en piezas ya forjadas.

Los desechos por mecanizado son mínimamente superiores, ya que es deficiente la viruta que se genera por el agregado de mecanizado de la zona destinada al aporte del electrodo. La cantidad de regrabados no se ve afectada por la mejora, manteniéndose constante en la cantidad definida.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Habiéndose expuesto en el capítulo 4 los resultados obtenidos a través del desarrollo del presente trabajo, se establecen a continuación las conclusiones obtenidas para el proceso de forjado de los componentes en cuestión.

El trabajo desarrollado es una solución a un problema real que resulto en una mejora implementada y documentada que actualmente es parte de un proceso que elevo su estándar, y que se incluye dentro de la mejora permanente. La fabricación de estos modelos tiene un proceso maduro, pero siempre puede mejorarse y en esa filosofía se enmarca este trabajo.

En líneas generales, tanto el objetivo general, como los específicos planteados fueron alcanzados satisfactoriamente.

Este trabajo final ha permitido establecer una forma de construcción y regabado de matrices de forja para el componente Knuckle Steering en sus variantes derecha (RH) e izquierda (LH).

A raíz de la mejora en el diseño de la matriz, se logró una mejor resistencia a la abrasión por fluencia de material y temperatura, permitiendo reducir los tiempos de parada del equipo para ajustar las grietas originadas (código 260), que se traducían con el tiempo en piezas scrap por pliegue (solapamiento de material). Recordemos que este solapamiento de material se detectaba durante el proceso del ensayo por partículas magnetizables, dando origen a la parada del equipo. Mayormente, al detectar esto por parte del inspector del proceso, ya se habían forjado una cantidad considerable de piezas, las cuales se convertían en scrap directamente, creando una dependencia del tiempo de control por este proceso, o incluso de tener que aumentar la frecuencia del mismo para detectar con mayor anterioridad el problema. Esto afectaba directamente la tarea del inspector, que dedicaba más tiempo a detectar tempranamente la falla, que a cumplir su función de control típica y establecida por el departamento de calidad.

El índice de paradas por código 260 (ajuste de matriz), presento una reducción significativa del 62.9% para el componente 2524 (Knuckle Steering RH) y un 83.6% para el componente 2525 (Knuckle Steering LH). Sin embargo, el mismo no desapareció por completo, abriendo el camino a continuar investigando y presentando alternativas para lograr una mayor reducción.

Los resultados obtenidos permitieron además que este concepto de construcción con aporte de soldadura por electrodo Stellite en zonas de alta fluencia, se traslade a diseños de matrices de otros componentes que presentaban el mismo problema, incluso en piezas de geometría simple y simétrica, como es el caso de un engranaje, donde la transición entre los diferentes diámetros del mismo se encontraba sometida a los mismos problemas de abrasión. Si bien en estos casos no se presentaba el problema de pliegue (solapamiento de material) y posterior scrap, se producía una deformación en esa parte de la matriz, que no era admitida por el plano del cliente, ocasionando que la matriz se descartara con poco tiempo de uso. En resumen, en este tipo de componentes, la mejora radica en un aumento de la vida útil de la matriz, o dicho de otro modo, que se puedan obtener mayor cantidad de piezas con una misma matriz.

Indirectamente se reduce el esfuerzo sobre los moldes, permitiendo aumentar la vida útil de los mismos, dado que, con anterioridad al agrietarse la superficie de la matriz, esa "rugosidad" que se genera actúa de "freno" para el material, lo que debía compensarse, aumentando la presión de forjado del equipo, la cual se traslada directamente a las matrices.

Al disminuir las paradas de máquinas por el código 260 (ajuste de matriz), aumenta directamente la productividad del equipo.

También radican dentro de la mejora lo concerniente a la seguridad del personal, principalmente del operador que realiza los ajustes, ya que en la mayoría de los casos se realizan con la matriz colocada dentro de la máquina, en una posición de trabajo casi horizontal (acostado) sobre el portamatriz, que si bien usan una manta, delantal y guantes térmicos, igualmente está sometido a la radiación de la temperatura de las matrices, y al riesgo de quemaduras por contacto de alguna extremidad con la superficie caliente.

Vale destacar que antes de la aparición de la herramienta de simulación, este tipo de modificaciones debían realizarse por prueba y error con los tiempos y costos asociados al mismo, obteniéndose resultados aleatorios y estimados, difíciles de predecir, donde solo la experiencia y la intuición eran los elementos de juicio disponibles sobre las cuales había que tomar una decisión. También es importante destacar que el soft de simulación es relevante pero también lo son el conocimiento del proceso, los materiales de los herramientas y el material a procesar, los

tratamientos térmicos y superficiales, las temperaturas de trabajo, el ritmo, la continuidad del mismo, la experiencia del personal operativo, etc.

Los datos que se utilizaron para el análisis de la mejora propuesta es información verídica de la empresa CRAFMSA, obtenida del sistema de gestión propio de la misma, más precisamente de los diarios a bordo de producción, los cuales permiten la exportación de los datos a una planilla de cálculo de Excel, de modo de que el usuario pueda darle el formato que considere conveniente para el análisis de los mismos. Este tipo de análisis es tarea corriente dentro de la rutina diaria de trabajo, para analizar cualquier problemática que surja, como así también en la mejora continua de los procesos. Cabe destacar que su utilización y publicación en este trabajo, cuenta con la expresa autorización de las autoridades de la empresa pertinentes.

Por último, es de suma importancia destacar el compromiso de la organización que admite y promueve el I+D comprometiendo recursos humanos y materiales para tipo de modificaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Bonnemezón, Alfredo - Martínez Kramher, Daniel. (2012) *“PRACTICA INDUSTRIAL DE LA FORJA EN CALIENTE”* – INTI Mecánica – Nueva Librería.
- Bonnemezón, Alfredo - Abate, Germán - Martínez Kramher, Daniel. (2013) *“INGENIERIA DEL FORJADO MODERNO”* – INTI Mecánica.
- Ulrich, Karl T. – Eppinger, Steven D. (2004) *“DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS, ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO”* – Mc Graw Hill – 3ra edición.
- Japan Forging Association (JFA) (2005) – *“THE ART OF FORGING”* – 18th International Forging Congress.
- Norma DIN 7526 – Tolerancias dimensionales para Forja.
- T. Altan. – S. OH. – H. Gegel. (1983) *“METAL FORMING: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS”* – American Society for Metals (ASM).
- S. R. Schmid – S. Kalpakjian. MANUFACTURA, INGENIERIA Y TECNOLOGIA.
- ASM Handbook (1988), FORMING & FORGING. 1° Edición.