

Automatización de una línea de producción de cuchillos cerámicos

Cerro Caballero, Sergi

Resumen

En el proyecto se introduce de brevemente la evolución de la automatización desde la época antigua hasta la actualidad. Seguidamente, se detalla los antecedentes y se lleva a cabo un estudio de mercado. A continuación, se describe las características de la nave y se procede con la explicación del proceso de fabricación no automatizado, donde se detalla paso a paso dicho proceso y se explica la maquinaria involucrada en la fabricación de cuchillos cerámicos respaldada por esquemas y se realizan cálculos sobre costes y beneficios. Acto seguido, se realiza exactamente lo mismo para el proceso productivo automatizado. Tras tener los cálculos de ambos procesos, se comparan y se extrae las conclusiones. Para finalizar, se aborda el impacto medioambiental, destacando medidas para reducir la huella de carbono.

1. Introducción

A continuación, se detalla como ha evolucionado la automatización desde la época antigua hasta la actualidad. Los primeros casos de automatización se registraron en el año 2000 a. C donde Ctesibio mejoró la clepsidra o reloj de agua mediante un regulador de flotación, Filón de Bizancio diseñó un camarero que servía agua de forma automática y Herón de Alejandría inventó la primera turbina de vapor.

Más adelante, en la edad media, apareció el gallo de Estrasburgo que cantaba las horas moviendo el pico y las alas. En la edad moderna, Jacques de Vaucanson construyó un pato mecánico que realizaba las mismas funciones que un pato real. A finales del siglo XVIII comienzan a despuntar los dispositivos de control automático como el regulador centrífugo de James Watt. Ya en la edad contemporánea, Charles Babbage en 1835 sacó a la luz su máquina analítica que no salió a la luz por los problemas de resistencias de la época. Veintiocho años después, Henri Fourneaux inventó la pianola que reproducía las notas escritas en un rollo perforado. En 1887 Leonardo Torres Quevedo inventó el primer transbordador para salvar un desnivel de 40 metros y más adelante inventó el ajedrecista, para mucho el primer videojuego de la historia. En los últimos 100 años, se conocen muchos más casos de automatización gracias al avance de la tecnología como es la primera línea de ensamblaje de producción de automóviles que creó Ford, el primer ordenador electrónico o la aparición de los primeros autómatas en 1960 [1].

La automatización consiste en usar la tecnología para realizar tareas con muy poca intervención humana [2,3]. Está se diferencia en 5 grandes grupos: fija, programable, flexible, cognitiva y colaborativa [4, 5, 6, 7].

El uso de la automatización tiene grandes ventajas entre las que se destaca la eliminación de los errores humanos debido a que las tareas están programadas y automatizadas, una mejor calidad final del producto porque no hay fallos, mejor precisión y calidad al reducir errores humanos, ahorro en costes operativos al no necesitar personal por lo que se genera un margen de ganancias mayor., producción flexible debido a la posibilidad de adaptación de los procesos y maximización de tiempos de operación. Sin embargo, también existen ciertas desventajas como el elevado coste que se necesita para automatizar una máquina o una línea de producción, se necesita mano de obra cualificada, ausencia de trabajadores debido a que muchos se ven obligados a rescindir de su puesto de trabajo y la alta inversión inicial [7,8,9].

2. Objetivos

Los objetivos principales del proyecto es implementar una automatización que sea real a las tecnologías actuales con el propósito de aumentar la producción respecto el proceso productivo no automatizado. Para alcanzar el objetivo es imprescindible el uso de máquinas eficientes y eliminar las operaciones repetitivas y los cuellos de botella. También se busca elevar los estándares de calidad del producto final y finalmente se pretende conocer el tiempo necesario en recuperar la inversión inicial.

3. Antecedentes

La historia industrial se ha marcado por varias revoluciones: la Primera Revolución Industrial, con la máquina de vapor de James Watt; la Segunda Revolución Industrial, que introdujo nuevas fuentes de energía como el gas y la electricidad; la revolución de la automatización en el siglo XX, destacada por las líneas de ensamblaje automatizadas de Henry Ford; y la actual y Cuarta Revolución Industrial, impulsada por avances digitales como la inteligencia artificial y la robótica. Esta última se conoce por el nombre de Industria 4.0. A nivel nacional, se destaca la llegada de SIMATIC de SIEMENS como un hito importante en este sentido [10,11]. La empresa SEAT fue una de las primeras en implementar la automatización en sus líneas de producción en la década de 1970. Siete años más tarde, instaló un sistema de robots que aumentó la eficiencia en la producción de vehículos.

4. Estudio de mercado

El objetivo del estudio de mercado es conocer las empresas que se dedican a la fabricación de cuchillos cerámicos. A nivel nacional la empresa QUTTIN ubicada en Albacete, destinada a la fabricación de cuchillos para uso doméstico y profesional. Sin embargo, la gran mayoría de sus cuchillos

son de acero inoxidable. Actualmente dispone de 3 cuchillos recubiertos de una capa de cerámica [12].

KYOCERA fue fundada por Kazuo Inamori en el año 1959. La empresa es líder mundial en la fabricación de cuchillos cerámicos y tiene una gran reputación en todo el mundo gracias a la alta calidad y durabilidad de sus cuchillos. Estos están fabricados con materiales cerámicos avanzados. Cuenta con filiales en más de 30 países donde disponen de más de 40 plantas de producción y 44 mil empleados [13].

5. Nave

En este apartado, se definen las características de la nave. La nave tiene una longitud de 50 metros una anchura de 20 metros y una altura de 15 metros. La altura de 15 metros resulta beneficiosa en términos de ventilación y circulación del aire dentro de la nave industrial. Gracias a esta altura, la nave cuenta con dos plantas, siendo la segunda planta ubicada a 8 metros de altura. No obstante, esta segunda planta no ocupa la misma superficie que la planta baja; ocupa la mitad de la misma. Este espacio es suficiente para albergar el departamento de administración y el departamento financiero. Es importante destacar que, al tratarse de un proceso productivo de tamaño mediano, no se requiere una nave industrial de grandes dimensiones. La elección de una nave con estas dimensiones específicas permite maximizar el uso del espacio de manera eficiente y garantizar un entorno de trabajo seguro y cómodo para el personal involucrado en el proceso.



Fig. 1. Vista en alzado de la nave



Fig. 2. Imagen real de la nave

6. Proceso productivo no automatizado

La materia prima que se emplea para la fabricación de cuchillos es óxido de circonio, debido a su valor de dureza en la escala de Mohs de 6 a 7,5 y su tenacidad es similar a la del diamante [14].

El óxido de circonio es nanométrico y estabilizado con óxido de itrio. Gracias a disponerlo en este estado, se obtiene el producto final en menos tiempo garantizando propiedades mecánicas de calidad.

La materia prima es suministrada en paquetes de 25 kg por SAT nano Technology Material Co.

El proceso de fabricación de cuchillos implica una serie de pasos meticulosos y específicos. Comienza con la manipulación del circonio, que se almacena en una caja móvil para su transporte a la zona de prensado. En esta etapa, un operario se encarga de llenar un molde con aceite lubricante antes de prensar el circonio para formar la estructura básica del cuchillo. Es esencial mantener una presión de 2943 kN sobre una superficie de 47 cm² durante 5 segundos, tarea que se realiza con la ayuda de un sistema de pulsadores y un manómetro para garantizar la precisión del proceso.

Una vez completado el prensado, los cuchillos resultantes se colocan en bandejas y se trasladan a hornos industriales refractarios, donde son sometidos a temperaturas de hasta 1400 °C durante un período de 24 horas. Este tratamiento térmico es fundamental para lograr la máxima dureza y resistencia en los cuchillos, transformándolos de una forma compacta y frágil a una hoja robusta e irrompible.

Después del ciclo de calentamiento, las bandejas de cuchillos se transfieren a la zona de enfriamiento, donde se enfrían durante 2 horas a temperatura ambiente. El proceso de enfriamiento rápido se facilita mediante el uso de un estabilizador de óxido de itrio presente en la materia prima, lo que garantiza una transición segura de alta temperatura a temperatura ambiente sin comprometer la integridad de los cuchillos.

Una vez enfriados, los cuchillos pasan por el proceso de afilado utilizando una amoladora de banco revestida de diamante. Esta etapa, conocida como biselado, es esencial para lograr un afilado preciso y consistente en todas las hojas. Los operarios, con su experiencia y destreza, realizan el afilado sin seguir un patrón específico, confiando en su habilidad y conocimiento del proceso.

Posteriormente, se ensambla el mango de plástico a la hoja del cuchillo utilizando una prensa manual y un pegamento de alta calidad para garantizar una unión duradera y resistente. Una vez completado el ensamblaje, los cuchillos se empaquetan cuidadosamente en cajas de cartón diseñadas para contener hasta 20 unidades, listos para su distribución y venta en el mercado. Este proceso integral garantiza la calidad y fiabilidad de los cuchillos fabricados, desde la materia prima hasta el producto final.

En el proceso productivo se emplea la siguiente maquinaria: una prensa hidráulica de 300 toneladas junto con un molde con la forma del cuchillo, tres hornos refractarios que alcanzan una temperatura máxima de 1600 °C y 6 mesas de trabajo con una amoladora y una prensa manual de pequeñas dimensiones en cada una de las mesas. A continuación, se detalla el esquema 3D del proceso productivo no automatizado.

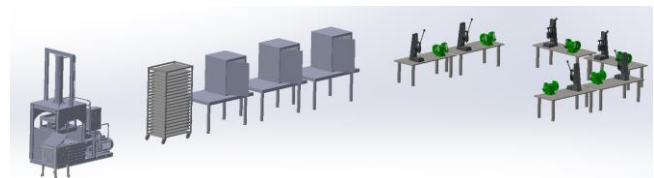


Fig. 3. Representación esquema 3D proceso no automatizado

Seguidamente se realiza un Diagrama de Gantt con el que se conocen los tiempos necesarios en fabricar un número determinado de cuchillos cerámicos. Para la elaboración del diagrama, se han estimado unos tiempos para cada operación.

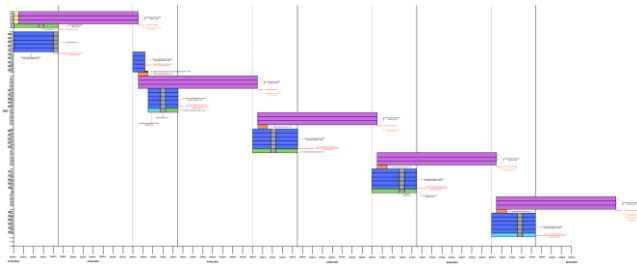


Fig. 4. Diagrama de Gantt del proceso no automatizado

Se observa como en una semana de trabajo se produce un total de 1232 cuchillos.

A continuación, se muestra una tabla con los cálculos de coste y beneficio obtenidos en el proceso de producción no automatizado.

Proceso productivo no automatizado	
Número cuchillos	5.9136
Número de trabajadores	9
Costes anuales	1.419.437,40 euros
PVP cuchillos	27,50 euros
Beneficio anual	40.821,69 euros

Tabla 1. Cálculos proceso producto no automatizado

7. Proceso productivo automatizado

En el proceso productivo automatizado se han implementado mejoras en ciertas máquinas del proceso anterior y se han adquirido nuevas máquinas con el objetivo de lograr una automatización completa y aumentar la producción de cuchillos cerámicos.

Se incorpora una tolva de alimentación con una cinta transportadora que suministran el óxido de circonio al embudo ubicada en la parte superior de la prensa hidráulica. El operario se encarga de llenar la tolva y gestionar la logística. La tolva cuenta con sensores capacitivos que controlan el llenado y el vaciado, asegurando un suministro constante de materia prima.

La prensa hidráulica ha sido modificada para aumentar la capacidad de producción, con un nuevo molde capaz de producir 4 cuchillos simultáneamente. Después del prensado, dos brazos robóticos extraen los cuchillos y los colocan en cintas transportadoras, cada una asignada a un robot.

Los cuchillos pasan por un control en una mesa de cristal equipada con cámaras 2D y software de inteligencia artificial para detectar posibles defectos. Los cuchillos sin defectos se colocan en una vagoneta y se introducen en hornos industriales a 1400 °C durante 24 horas. Los cuchillos defectuosos, son eliminados del proceso productivo. Una vez los cuchillos se han enfriado, estos pasas a la siguiente operación donde se afilan y se realiza el

ensamblaje del mango. Estas operaciones las realizan brazos robóticos programados previamente. Una vez finalizada ambas operaciones, el brazo robótico deja los cuchillos en la cinta transportada final que conduce los cuchillos hasta la empacadora donde se empaquetan en cajas para su distribución. Se ha instalado un laboratorio, en el que los técnicos de calidad se encargan de realizar una serie de ensayos a los cuchillos para garantizar la máxima calidad posible en el producto final.

El control del proceso se lleva a cabo mediante dos Controladores Lógicos Programables (PLCs), que supervisan el flujo de producción y la empacadora. Los operarios pueden monitorear el proceso en tiempo real a través de una pantalla de visualización, lo que les permite identificar y corregir posibles problemas de manera eficiente.

En el proceso productivo automatizado se ha aumentado considerablemente el número de máquinas. Dicho proceso dispone de 1 tolva, 1 prensa hidráulica, 6 hornos vagoneta, 5 cintas transportadoras, 14 brazos robóticos y 10 afiladoras industriales y 10 prensas manuales de grandes longitudes.

A continuación, se detalla el proceso el esquema 3D del proceso productivo automatizado.

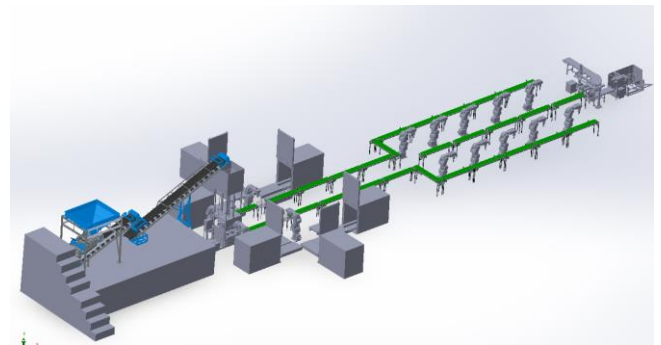


Fig. 5. Representación esquema 3D proceso automatizado

Debido a las diferencias respecto al proceso productivo no automatizado, se realizó un Diagrama de Gantt del proceso productivo actual.

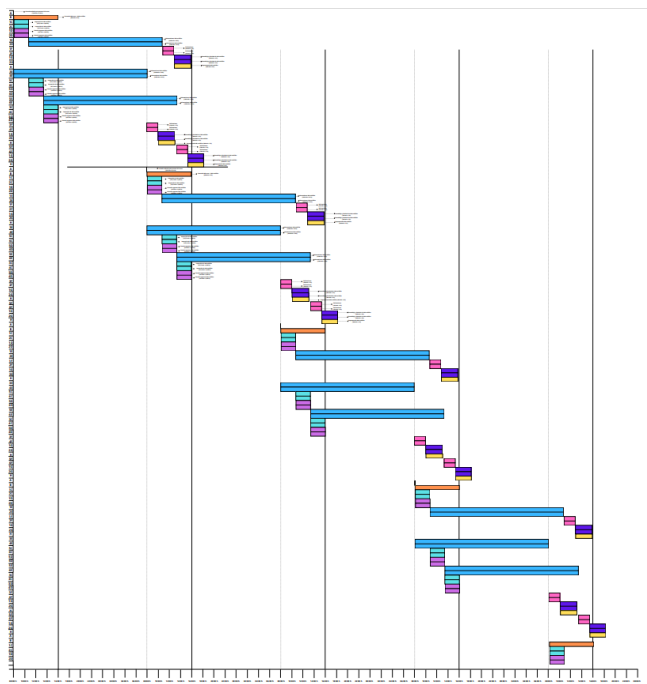


Fig. 6. Diagrama de Gantt del proceso productivo automatizado

Gracias a que el molde de la prensa hidráulica, por cada prensado realiza 4 cuchillos se consigue en una semana de trabajo aumentar la producción x4. En una semana de trabajo se fabrican 4.320 cuchillos. A continuación, se detallan los cálculos obtenidos sobre coste y beneficio del proceso productivo automatizado.

Proceso productivo no automatizado	
Número cuchillos	207.360
Número de trabajadores	6
Costes anuales	4.005.113,76 euros
PVP cuchillos	27,50 euros
Beneficio anual	865.576,40 euros

Tabla 2. Cálculos proceso producto automatizado

	PROCESO PRODUCTIVO NO AUTOMATIZADO	PROCESO PRODUCTIVO AUTOMATIZADO
Número de cuchillos	59136	207360
Coste materias primas	1.142.213,08 €	4.005.113,76 €
Coste consumo energético	71.224,32 €	207.630,24 €
Número de trabajadores	9	6
Coste nóminas	206.000,00 €	158.000,00 €
Costes totales	1.419.437,40 €	4.370.744,00 €
PVP cuchillos	27,50 €	27,50 €
Beneficio anual	40.821,69 €	865.576,40 €

Fig. 7. Resumen costes ambos procesos

Tras conocer los cálculos de ambos procesos, se procede a calcular la amortización de la inversión inicial. A continuación, se muestra una tabla con los cálculos obtenidos:

Amortización	
Coste maquinaria	486.332 euros
Coste programación	10.000 euros
Coste montaje proceso	10.000 euros
Años de amortización	20,2 años

Tabla 2. Cálculos proceso producto automatizado

8. Impacto ambiental

En este apartado, se describen los aspectos medioambientales considerados durante la automatización del proceso productivo automatizado con el propósito de mitigar la huella de carbono y, consecuentemente, reducir el impacto ambiental.

Junto con la automatización del proceso productivo, se ha reformado la instalación eléctrica de la nave, además de instalar bombillas de bajo consumo tanto en oficinas como en la parte del proceso reduciendo la huella de carbono.

Adicionalmente, se ha integrado un sistema de tratamiento de agua con el que el agua proveniente de los grifos del lavabo, tras una serie de tratamientos, se emplea para el desagüe de los inodoros.

Se prioriza, la adquisición de maquinaria que tengan Declaración Ambiental de Producto (DAP) reduciendo el impacto ambiental de forma indirecta.

Los cuchillos cerámicos descartados durante el proceso de fabricación son gestionados por una empresa especialista en tratamientos de residuos, garantizando así una gestión ambiental responsable.

Los cuchillos son distribuidos en cajas de cartón corrugado 100 % reciclable y fabricados a partir de recursos naturales.

En cuanto a la distribución de las materias primas por parte de nuestros distribuidores, buscamos que el transporte sea realizado mediante un método de transportes con bajas emisiones de CO₂. Esto es fundamental para reducir la huella de carbono debido a que las emisiones de CO₂ son las principales causantes del calentamiento global.

9. Conclusiones

Se concluye que la implementación del proceso automatizado ha generado una mejora significativa en términos de producción. La automatización del proceso productivo ha permitido alcanzar una producción anual de 207.360 cuchillos, es decir 148.224 cuchillos de más en comparación con el proceso no automatizado, representando un aumento del 250,64 %. Este incremento en la producción conlleva directo de los costes anuales de la nave.

El consumo energético, ha tenido un aumento considerable debido a la incorporación de más maquinaria en las diferentes etapas del proceso productivo. De igual manera, el coste en materia primas se ha visto aumentado motivado por una mayor fabricación de cuchillos cerámicos. El coste anual de consumo energético y de materia prima es de 4.212.744 euros, un 247,17 % más respecto al proceso productivo no automatizado.

Sin embargo, el coste en salarios se ha reducido respecto al proceso no automatizado debido a la reducción de operarios. En este aspecto, gracias a la automatización se ha conseguido reducir los salarios un 23,30 %.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, los beneficios anuales han sido 21 veces mayor respecto al proceso productivo no automatizado, consiguiendo unos beneficios anuales de 865.576,40 euros.

10. Agradecimientos

Sin lugar a duda, esta tesis no habría sido la misma sin la participación de ciertas personas e instituciones. Por este motivo, me gustaría dedicar un pequeño párrafo a cada uno.

En primer lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento al Profesor Maurici Sivatte Adroer por haber aceptado mi proyecto. Su apoyo desde el primer día ha sido fundamental para dirigir el trabajo hacia el camino correcto. Sin duda, sus ideas y su conocimiento han sido esenciales para el correcto desarrollo de la tesis. También agradezco su plena disponibilidad e implicación en la realización de reuniones.

Quisiera agradecer a mi compañero de trabajo, el Dr. Josep Maria Ferrer, por organizar una entrevista con el Dr. Joan Formosa Mitjans de la Universidad de Barcelona, lo que me permitió comprender a fondo el comportamiento del óxido de circonio. Gracias a la experiencia de Joan con materiales cerámicos, pude lograr mejoras significativas en los procesos productivos que han sido cruciales para el cumplimiento de los objetivos de la tesis.

Por último, pero no menos importante, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mi familia y a mi pareja por la motivación que me han brindado desde el principio y por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

Referencias

- [1] Brunete A, Segundo y Rebeca Herrero PS. 1.1 Breve historia de la Automática [Internet]. Bookdown.org. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/breve-historia-de-la-automatiza-tica.html
- [2] ¿Qué es la automatización? Ventajas e importancia de automatizar [Internet]. Redhat.com. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/automation>
- [3] Ripipsacobots.com. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://ripipsacobots.com/automatizacion/>
- [4] ¿Qué tipos de automatización industrial hay y cuáles necesitas? [Internet]. Neobotik. 2021 [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.neobotik.com/tipos-de-automatizacion-industrial/>
- [5] Sayol I. Automatización Cognitiva: Beneficios y Aplicaciones [Internet]. Ignasi Sayol. 2023 [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://ignasisayol.com/es/automatizacion-cognitiva-beneficios-y-aplicaciones/>
- [6] Marketing. ¿Qué es la Robótica Colaborativa? ▷ Aplicaciones y Ventajas [Internet]. EDS Robotics. 2022 [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.edsrobotics.com/blog/robotica-colaborativa-que-es/>

- [7] Cadecobots.com. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://cadecobots.com/robotica-colaborativa-que-es-ventajas-y-aplicacion/>
- [8] Ventajas y desventajas de la automatización industrial [Internet]. Automatizacionindustrial360.com. 2020 [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://automatizacionindustrial360.com/ventajas-y-desventajas/>
- [9] Ventajas y desventajas de la automatización industrial [Internet]. MCR. 2016 [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://mcr.es/ventajas-y-desventajas-de-la-automatizacion-industrial/>
- [10] Referencia H, De LA. CAPITULO I: INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION CAPITULO I: INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION [Internet]. Wordpress.com. [citado el 8 de enero de 2024]. Disponible en: <https://teacherke.files.wordpress.com/2010/09/introduccion-a-la-automatizacion.pdf>
- [11] Tipán E, Zapata M, Visarrea-Topón L. Fundamentos de automatización y redes industriales [Internet]. Indoamérica. Ecuador; 2021 [cited 2024 Jan 8]. 6–232 p. Available from: <file:///C:/Users/stell/Downloads/Libro%20Fundamentos%20Oautomatizacion.pdf>
- [12] Empresa [Internet]. Tienda Quttin. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.tiendaquttin.com/content/4-empresa>
- [13] de Federico González P. Blog de las Marcas [Internet]. Blogspot.com. [citado el 25 de junio de 2023]. Disponible en: <http://blogdelasmarcas.blogspot.com/2008/01/historia-de-kyocera.html>