

Implementation of the Jidoka tool in the automation of the production process of toilet tanks

Valeria Crespo Montoya, B. Eng.¹, William Torrejon Celis, B. Eng.¹, José Ramos Bonifaz, M. Eng.¹, and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹ Universidad Tecnológica del Perú, Lima Peru, crespovaleria86@gmail.com, w.torrejon10@gmail.com, c20504@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Abstract– The control of the operating parameters in the productive process of the ceramics industry allows for reducing process waste and increasing productivity. It can be achieved by transitioning from manual production activities to automated systems. However, this transition is overestimated in costs without a pertinent analysis of the production process's limitations through engineering tools. In this sense, the present case study evaluates the toilet tanks' manual manufacturing process. It is determined that the process presents a high volume of defective products and waits for that to limit productivity. Therefore, an automation plan focused on overcoming both limitations through using the Jidoka tool is proposed. Through the implementation of the automated production process (consisting of 5 systems), a positive transition in the production of toilet tanks is verified, and an increase in productivity of 18% is registered compared to the manual process.

Keywords-- Toilet tanks, Jidoka, Lean Manufacturing, production, ceramic industry.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Implementación de la herramienta Jidoka en la automatización del proceso de producción de tanques de sanitarios

Valeria Crespo Montoya, B. Eng.¹, William Torrejon Celis, B. Eng.¹, José Ramos Bonifaz, M. Eng.¹, and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹ Universidad Tecnológica del Perú, Lima Peru, crespovaleria86@gmail.com, w.torrejon10@gmail.com, c20504@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Resumen– *El control de los parámetros de operación en el proceso productivo de la industria de cerámicos permite reducir los desperdicios y elevar la productividad de este. Esto puede ser alcanzado mediante la transición de actividades manuales de producción a sistemas automatizados. Sin embargo, esta transición se sobrevalora en costos sin un análisis pertinente de las limitaciones del proceso productivo mediante el uso de las herramientas de ingeniería. En este sentido, el presente estudio de caso reporta la evaluación del proceso de fabricación manual de tanques para inodoros y se determina que el proceso presenta un elevado volumen de productos defectuosos y esperas que limiten su productividad. Por ende, se plantea desarrollar un plan de automatización para superar ambas limitaciones mediante el uso de la metodología Lean Manufacturing a través de la herramienta Jidoka con el fin de incrementar la productividad del proceso de fabricación de tanques para inodoros de dos piezas. A través de la implementación del proceso automatizado de producción (compuesto por 5 sistemas) se constata una transición positiva en la producción de tanques para inodoros, y se registra un incremento en la productividad del 18 % en comparación al proceso manual.*

Palabras claves-- *Tanques de sanitarios, Jidoka, Lean Manufacturing, productividad, industria de cerámicos*

I. INTRODUCCIÓN

La industria de cerámica se caracteriza por contar con un proceso productivo dependiente de los parámetros de operación, por lo cual, su desarrollo requiere un control y optimización de las actividades que lo conforman. De esta manera, es posible limitar el volumen de mermas y de productos defectuosos, evitar una baja disponibilidad de maquinaria, y elevar la productividad del proceso [1]. En este sentido, la ausencia de un estricto control de los procesos de fabricación manual, propios de la pequeña y mediana industria, evidencian un impacto negativo sobre su eficiencia, el control de fallos, y el volumen de defectos en los productos finales [2].

El análisis comparativo entre un proceso de fabricación manual y automatizado señala ventajas en la manipulación de las piezas desmoldadas, lo cual, eleva la eficiencia del operario, disminuye el espacio productivo, libera la fuerza laboral y reduce los tiempos improductivos [3]–[5]. En

relación a la calidad del producto final, se reporta que la fabricación tradicional infiere bajos estándares de calidad, por ejemplo, el porcentaje de deficiencias en la producción de sanitarios vitrificados en China y Japón es igual a 60 y 20 %, respectivamente, y es una consecuencia de la limitada automatización del sector en el primer país [6], [7]. En la misma línea, la industria chilena registra importantes avances en la implementación sus sistemas automatizados para la producción de piezas cerámicas [8]. Por su parte, el contexto peruano evidencia un importante crecimiento en la demanda interna y externa de los productos cerámicos, con lo cual, se estima la implementación de herramientas de ingeniería para un mejor control de los procesos productivos manuales seguido de una paulatina automatización [8]. Por el contrario, las principales limitaciones que implica ésta transición son los costos de implementación de la tecnología requerida y su mantenimiento, así como, el tiempo de retorno de la inversión realizada [9].

Para evitar la sobrevaloración en la automatización de la industria de cerámicos es requerido evaluar e implementar estrategias de mejora a fin de alcanzar una “automatización inteligente” [10], [11]. Por ejemplo, la aplicación de las herramientas de ingeniería TPM (*Total Productive Maintenance*), 5S y Jidoka permite elevar la eficiencia del proceso en un 14,0 %, reducir el porcentaje de fallas en la maquinaria en 5,0 %, elevar la disponibilidad de las mismas en 7,0 %, y reducir los costos por productos defectuosos en 20 % [2], [11]. Asimismo, se reporta que las herramientas OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), VSM (*Value Stream Mapping*), 7 desperdicios y SMED (*Single Minute Exchange of Die*) generan un impacto positivo en la calidad de los productos y el rendimiento de la maquinaria en la industria cerámica [12]–[15]. Por otra parte, se recomienda la reducción de desperdicios en la actividad de cocción, y la mitigación de errores de operación, tales como, burbujas de aire en la inyección de la cerámica, exceso de humedad en la mezcla, descarga inadecuada de aisladores de plantilla e incorrecto curado [16]–[18].

El presente estudio de caso evidencia que el proceso de fabricación manual de tanque cerámicos para inodoros registra una productividad limitada debido a un elevado volumen de mermas y productos defectuosos. Por ende, se evalúan y determinan las actividades críticas del proceso de producción

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

que requieren de automatización, y por último se diseña e implementa un plan de automatización basado en la herramienta Jidoka con la finalidad de incrementar la productividad del proceso de fabricación de tanques para inodoros de dos piezas.

II. ANÁLISIS SITUACIONAL

A. Fabricación manual de tanques para inodoros

El proceso de fabricación de tanques para inodoros de dos piezas (modelos Aruba y Punta Sal) registra una limitada eficiencia debido a que cada una de las actividades que lo conforman se realizan de manera manual. Específicamente, el proceso consta de 14 operaciones, 3 inspecciones y 2 operaciones combinadas, las cuales, registran un tiempo de ciclo neto de 4,8 h para la elaboración de 1 lote de 192 tanques de cerámica para inodoros.

Asimismo, se detalla la simbología de transporte y esperas que formen parte del proceso de fabricación de tanques para inodoros. Por otra parte, se identificó un gasto total de 1,95 horas (40 % del tiempo ciclo) en actividades de transporte y demoras que no agregan valor al proceso.

Al considerar el registro de producción de la planta en 8 meses se estima que la eficiencia mensual de fabricación manual de tanques para inodoros a partir de la relación existente entre la masa de materia prima presente en los productos conformes versus la masa total utilizada en el proceso productivo (Tabla I). Como resultado se registra una eficiencia promedio de 49 %, claramente, este valor se categoriza como deficiente y conlleva al desarrollo de acciones correctivas.

El análisis situacional del proceso señala que es requerido revertir la generación de horas extra, evitar sobre producir en periodos de poca demanda para cubrir las piezas faltantes del plan de producción, incurrir en costes de almacenaje de piezas por productos en stock, entre otros. Las cuales, finalmente elevan el costo de fabricación de los tanques para inodoro.

TABLA I

REGISTRO DE PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TANQUE PARA INODOROS.

Mes	Materia prima total / Kg	Piezas producidas/ Kg	Productividad / %
Enero	45770	22529	49
Febrero	45770	23065	50
Marzo	45412	23065	51
Abril	44697	22529	50
Mayo	44697	22529	50
Junio	45770	21813	48
Julio	46127	22529	49
Agosto	48273	21455	44

B. Limitantes de la productividad en el proceso

Toda actividad productiva que implique la transformación de la materia prima en bienes y servicios, es dependiente de

las siguiente variable de producción: mano de obra, materiales, maquinaria, método y medio ambiente [18], [19]. De esta manera, se evalúan los requerimientos del proceso de producción y determinan las limitantes del proceso asociadas a los desperdicios generados (muri, mura y muda) en el mismo (Fig. 1) [3], [6], [12], [19]. El análisis situacional del proceso indica que las sobrecargas (muri) y los desperdicios (muda) son las causas raíz de la baja eficiencia en la fabricación manual de tanques para inodoros.



Fig. 1 Representación de las 3M limitantes de la productividad.

1) Sobrecargas en el proceso de colado

El proceso de fabricación manual de tanques para inodoro registra un nivel de producción por encima de la capacidad del operario y/o maquinaria para alcanzar la demanda requerida [19]. Lo cual origina un agotamiento de los recursos y una baja eficiencia de producción. Al evaluar el índice se sobrecarga mensual (1),

$$\text{índice de sobrecarga} = \frac{\text{horas-hombre totales}}{\text{horas hombre programadas}} \quad (1)$$

Se registra un alto índice de sobrecarga de trabajo (índice de sobrecarga ≥ 1) como consecuencia de un alto nivel de fallas y productos defectuosos, por lo que, se tiene que recurrir a horas extra para poder fabricar más unidades para poder cumplir con el plan de producción mensual (Fig. 2). Por ende, se eleva el número de horas-hombre mensual y se genera un paulatino incremento en la fatiga física del personal que conlleva a un agotamiento en la mano de obra, y una reducción en la productividad de este.

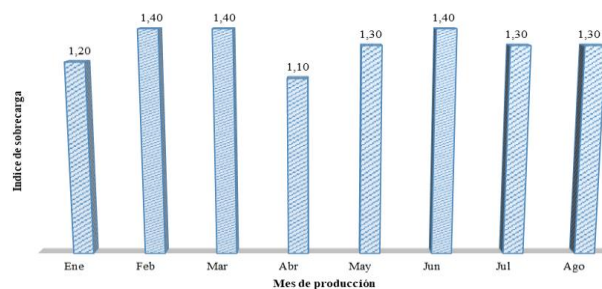


Fig. 2 Índice de sobrecarga en el proceso productivo.

2) Principales desperdicios en el proceso productivo

Productos defectuosos, se considera a todo aquel producto que después o en el proceso de fabricación es

rechazado por presentar algún tipo de falla preestablecida en el manual de clasificación [6], [18], [19]. El estado de no conformidad de la pieza quiere decir que bajo ningún reproceso puede recuperarse, generando pérdidas del tiempo de la mano de obra y materia prima. De acuerdo con el manual de clasificación, el tanque se divide en 9 zonas (Fig. 3). Cada zona se asocia un tipo de falla, la cual, propicia que la pieza sea descartada y pase a formar parte del lote de rotura en crudo (Tabla II).

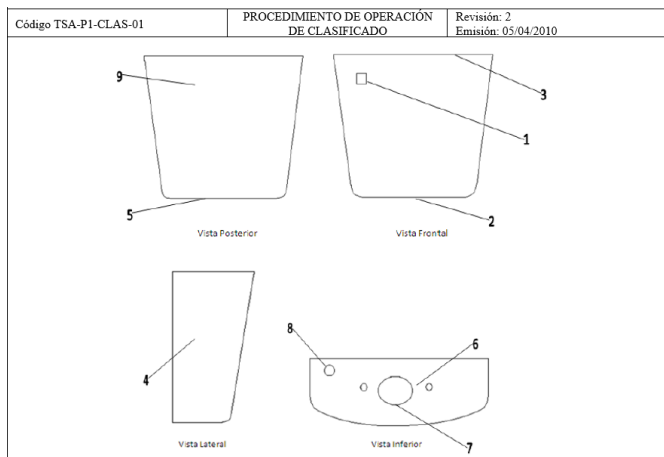


Fig. 3 Índice de sobrecarga en el proceso productivo.

TABLA II
CUADROS DE ASIGNACIÓN DE FALLAS

Zona	Defecto	Actividad del proceso	Descripción	Causa
1	Deformación	Ponchado de agujeros	Agujero para sistema de descarga con deformaciones	Colador hace mal uso de los sacabocados
2	Grieta o deformación	Desmoldado de tanque	Grieta o deformación en la base frontal del tanque	Colador hace mala manipulación del tanque cuando aún está húmedo
3	Deformación	Desmoldado o manipulación de tanque	Borde superior deformado, la tapa no podrá calzar	Colador hace mala manipulación en el desmolde o en el curado
4	Deformación	Desmoldado o manipulación de tanque	Laterales deformes o agrietados	Colador manipula inadecuadamente el tanque provocando la falla
5	Grieta o deformación	Desmoldado de tanque	Grieta o deformación en la base posterior del tanque	Colador hace mala manipulación del tanque cuando aún está húmedo
6	Grieta o deformación	Perforación de agujeros	El Interior de Base se deforma por hacer demasiada presión	Colador manipula de manera inadecuada
7	Con rebabas, sin agujerom deforme	Perforación de agujeros de tanque	Agujero de descarga deforme o inexistente	Colador no hace el agujero de descarga o perfora mal el agujero
8	Con rebabas, sin agujerom deforme	Perforación de agujeros de tanque	Agujero de llene deforme o inexistente	Colador no hace el agujero de descarga o perfora mal el agujero
9	Grieta o deformación	Desmoldado de tanque	Grieta o deformación en la Pared posterior	Colador manipula sin cuidado el tanque

Para medir este desperdicio se utiliza como descriptor numérico el índice de calidad, el cual, es una relación del número de piezas buenas producidas en el mes entre la cantidad total de piezas producidas [6], [18], [19]. De esta manera, un índice de calidad inferior a 0,75 demuestra un

escaso control de la calidad del proceso productivo y una baja fiabilidad en el estado de las piezas cerámicas producidas (Fig.4).

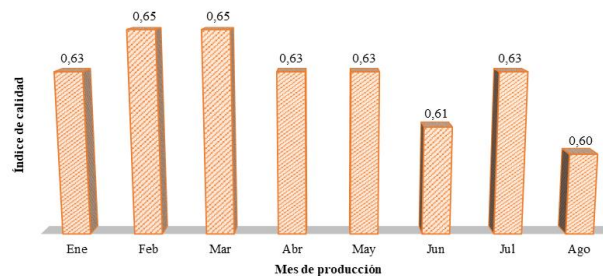


Fig. 4 Índice de calidad para el proceso de fabricación de tanques para inodoros previo de la implementación del plan de mejora.

Al registrarse valores muy por debajo del objetivo se considera prioritario tomar acciones correctivas sobre este desperdicio. Una valoración económica asociada a las pérdidas por productos defectuosos es determinada a partir de la cantidad de tanques defectuosos por el costo de fabricación de los tanques en proceso (debido a que al ser defectuosos no han llegado al final del proceso). Dicho costo por tanque equivale al precio de la materia prima. (≈ US\$ 3,9 dólares) y las horas-hombre invertidas (≈ US\$ 9,2). De esta manera, se reporta una pérdida económica de aprox. US\$ 165 580,3 por productos defectuosos en el periodo de estudio.

Esperas, este presente desperdicio registra una incidencia directa sobre el tiempo de entrega del producto. En este sentido, se evaluó el nivel de cumplimiento diario para determinar el número de piezas faltantes en el plan de producción mensual. Si el indicador fluctúa en el rango de 0 a 5 % implica que las entregas son realizadas en tiempo adecuados, sin embargo, si este valor es superior al 5 %, se le categoriza como cumplimiento tardío (Fig.5).

En este sentido, el retraso de las entregas de piezas a las demás áreas de producción incide directamente en los tiempos del proceso. Específicamente, los tiempos de espera asociados a la deshidratación de los moldes, el curado de las piezas, el pre-secado de las piezas, entre otras actividades impactan sobre el índice de cumplimiento. Conforme a lo registrado el proceso de fabricación manual alcanza la producción de 327 piezas al día, valor que no permite cumplir con el plan de producción mensual.

El análisis de Pareto identifica que las sobrecargas y los desperdicios reportados representan el 76.12% de los problemas existentes en el proceso. El abordar ambos problemas con acciones preventivas y/o correctivas basadas en las herramientas Lean; deviene en una reducción de los costos de producción estimado de US\$ 209 915,3, así como, un incremento en un 17 % de la productividad actual.

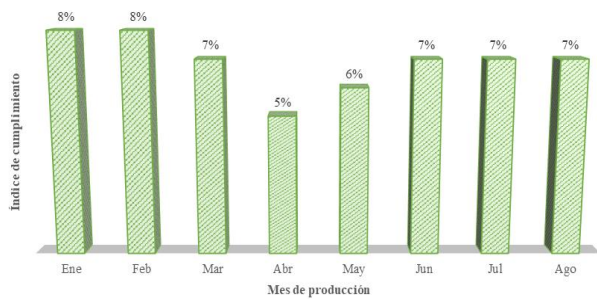


Fig. 5 Índice de cumplimiento en la fabricación de tanques para inodoros previo de la implementación del plan de mejora.

III. METODOLOGÍA DE LA SOLUCIÓN

El enfoque de Lean Manufacturing ha sido ampliamente discutido por autores como James P. Womack y Daniel T. Jones, quienes han enfatizado en la importancia de la mejora continua y la eliminación de desperdicios en los procesos productivos [20]. Para lograr esto, una herramienta clave es Jidoka, que se ha utilizado con éxito en la industria para detectar problemas en el proceso de producción de manera temprana y tomar medidas para corregirlos de inmediato. Autores como Takashi Hara han destacado la importancia de la automatización en la aplicación de Jidoka, lo que permite la detección y corrección de problemas de manera autónoma, reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia del proceso [21]. Jidoka ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la calidad del producto, reducir los tiempos de ciclo y aumentar la satisfacción del cliente, como señala John Shook en su libro "*Managing to Learn*" [22].

Para abordar las limitantes mencionadas se plantea la aplicación de la herramienta Jidoka con el objetivo de automatizar el proceso de fabricación y hacerlo más productivo [2], [11]. Además, se determina que es requerido una reestructuración de los moldes aplicados en el proceso, la implementación de conductores de aire para agilizar el secado y un sistema de desmolde automático de las piezas.

Como parte de la unidad de estudio, esta corresponde al área de trabajo de tanques de dos piezas (modelo Aruba y Punta Sal) la cual esta principalmente representada por una población de 14,078 unidades de tanques producidos al mes, por ambos modelos para la empresa cerámica, la cual será materia de evaluación para los indicadores de productividad que se desean mejorar. Para el registro de las pérdidas, se tomó como muestra las 327 piezas al día producidas, según los valores de producción, valor que sirve de punto de partida para la mejora de la productividad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para abordar las limitantes mencionadas se plantea la aplicación de la herramienta Jidoka con el objetivo de automatizar el proceso de fabricación y hacerlo más productivo [2], [11]. Además, se determina que es requerido

una reestructuración de los moldes aplicados en el proceso, la implementación de conductores de aire para agilizar el secado y un sistema de desmolde automático de las piezas.

A. Plan estratégico para la reducción de las limitantes de productividad

Dado que los productos defectuosos representan el 60% del total de limitantes de la productividad, su impacto económico se estima en US\$ 165 580,3 en los 8 meses de estudio. En relación a lo analizado las fallas están estrechamente asociadas a las limitaciones de un proceso manual [12]. Los productos defectuosos y las esperas en el proceso tienen entre sus principales causas raíz la incorrecta manipulación y ejecución de las actividades del proceso.

Por lo tanto, la automatización del proceso permitirá la detección de anomalías que afecten la calidad del producto [3], [11]. Adicionalmente, esta debe potenciar la eficiencia de las ciertas actividades críticas, *e.g.*, el cerrado y llenado de moldes, el desmolde, manipulación de las piezas y colocación de agujeros direccionan la calidad de la pieza. Con esta premisa, se plantean diversos sistemas automatizados de preparación de piezas cerámicas y la optimización de las características del molde de tanques para inodoro. A continuación, se detallan los sistemas desarrollados, su aplicación e impacto en el proceso de colado de tanques (Tabla III). De acuerdo con lo establecido en la Tabla III, el proceso de automatización de las principales actividades del proceso de fabricación de tanques para inodoros puede ser categorizado en 5 sistemas que aborden ambas limitantes de la productividad.

1) Sistema de spagles

Permite controlar y acelerar el proceso de deshidratación de los moldes, de esta manera, se reducen los tiempos de espera entre cada lote de coladas. Este sistema inyecta aire a una presión de 4 bar acelerando la disponibilidad de las piezas preparadas. Análogamente, el molde se rediseña con cánulas o tuberías que facilite la circulación de aire a presión para alcanzar una deshidratación óptima (Fig. 6).

2) Sistema de desmolde

A través de este sistema la pieza queda suspendida en el embolo para que seguidamente sea desmoldada sin intervención del operario, con lo cual, se evita que la pieza sufra algún tipo de rotura por mala manipulación.

3) Sistema de llenado y descarga

Permite la inyección en serie de la barbotina a todos los moldes y reemplaza al procedimiento convencional de llenado manual. Este sistema está compuesto por etapas, (i) una tolva de nivel y sus actuadores controlados por un sensor de nivel evitan derrames y aglomeraciones de materia prima, y (ii) un sistema de tuberías y mangueras que sirven para llenar todos los conductos de barbotina y están controlados diferentes válvulas del proceso.

TABLA III
ACCIONES DE MEJORA A TRAVÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Sistema	Aplicado a:	Limitante de productividad	Acciones / Implementación	Impacto
Molde	Molde	Productos Defectuosos	Agujero de pre ponchado	Permite evitar que se generen defectos de ponchado de agujeros
Sistema Spagles		Esperas	Conductos de aire	Permite insertar aire al molde para secarlo en menos tiempo
Sistema de Izaje		Productos Defectuosos	Agujeros para conexiones roscadas en embolo del molde	Permite colocar soportes para anclar la tapa o embolo a una viga de izaje horizontal
Sistema de Desmolde		Productos Defectuosos	Conductos de aire	Permite insertar aire al molde para desmoldar la pieza
Sistema de llenado		Esperas	Colocación de tubería de llenado al molde	Permite el ingreso de barbotina al interior del molde
Sistema de llenado	Proceso	Esperas	Colocación de tubería de llenado con válvulas automatizadas y sistemas de nivel	Permite llenar todos los moldes instalados al mismo tiempo logrando uniformidad en el proceso
Sistema de descarga		Esperas	Colocación de tubería con válvulas automatizadas	Permite descargar la pasta de todos los moldes al mismo tiempo evitando demoras
Sistema de Prensado		Productos Defectuosos	Colocación de mangueras de presión para sellado de moldes	Permite hermetizar el molde, evita que la barbotina se rebalse del molde y haya defectos de formación
Sistema de Izaje		Esperas	Implementación de sistema de elevación hidráulico	Permite subir y bajar el embolo de todos los moldes instalados al mismo tiempo
Sistema Spagles		Esperas	Colocación de tuberías y conexiones para aire presurizado 4bar	Permite regular y canalizar el aire de planta hacia los moldes para deshidratarlos
Sistema de desmolde		Esperas		Permite regular y canalizar el aire de planta hacia el embolo de los moldes para desmoldarlos
Luces semáforo		Productos Defectuosos / Esperas	Colocación de circulinas indicadoras de actividad	Permite verificar mediante sistema deluces el estado del proceso
Sistema de Aseguramiento y control		Productos Defectuosos	Colocación de sensores de proceso y tablero de control general	Permite identificar en tiempo real problemas en el proceso

4) Sistema de izaje

Es un sistema mecánico, eléctrico hidráulico y neumático que permite reducir el esfuerzo al operario y desmoldar la totalidad de las piezas en solo subproceso.

5) Sistemas de aseguramiento y control

Es el corazón de la automatización debido a que el tablero de control comanda las órdenes del nuevo proceso. Las señales del proceso son interpretadas por un PLC (*Programmable Logic Controller*) y son transcritas en señales para un mejor control del proceso de colado más eficiente.

Adicionalmente, la herramienta Jidoka indica la necesidad de implementar señaléticas al nuevo proceso de colado para identificar los momentos necesarios de la intervención del operario. Por otra parte, la implementación de la herramienta Jidoka permite la reducción de los desperdicios de los productos defectuosos y esperas conforme a registrado a continuación (Tabla IV)

TABLA IV
EFICIENCIA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TANQUES PARA INODOROS
POST-IMPLEMENTACIÓN

Unidades	Proceso Inicial	Proceso Actual
Producidas	14078	10296
Defectuosas	5243	2883
Eficiencia / %	63	72

De acuerdo con el registro del porcentaje de eficiencias en los últimos 8 meses de estudio, se registró un valor promedio de 63%. En contraste, los resultados indican que la automatización del proceso basado en las herramientas Lean Manufacturing, eleva su productividad en 72% de eficiencia según los datos proporcionados por la empresa con la automatización. Además, se redujo el tiempo y el número de actividades dentro del diagrama de operaciones del proceso, lo cual la hace más eficiente el proceso en el tiempo.

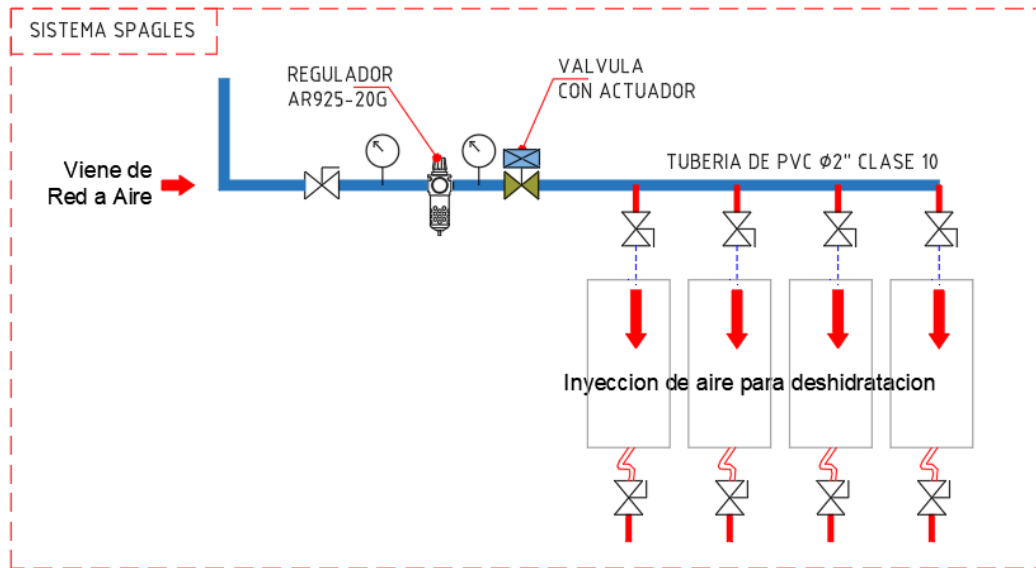


Fig. 6 Esquema del Sistema Spagles implementado.

En la Tabla V se observa que los tiempos iniciales tuvieron un porcentaje de suplementos del 25% esto debido a que el proceso era totalmente manual y las condiciones de trabajo eran inadecuadas para el operario. Seguido a la implementación del plan de mejora se evidencia en un nuevo porcentaje de suplemento del 16% debido a que el proceso está automatizado y la intervención del operario es mínima, aprox. el 10% en todo el proceso.

TABLA V
TIEMPOS DE CICLO Y ESTÁNDAR EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Descripción	Tiempos de ciclo / min	Tiempos estándar / min
Diagnóstico inicial	173	216
Diagnóstico final	26	30

De esta manera se justifica la automatización del proceso productivo en base a las herramientas Lean Manufacturing. El incremento en la productividad de la empresa cerámica refleja la optimización en el uso de la materia prima, insumos y capital de trabajo [6], [12], [16]. Como se evidencia, el incremento de la productividad se realiza centrado el foco de acción sobre las limitantes críticas del proceso. Cabe mencionar que se abordaron los dos desperdicios más importante y críticos que afectan la productividad del proceso, sin embargo, se registró la existencia de 6 desperdicios adicionales de bajo impacto que serán discutidos y desarrollados en una futura investigación.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que basado en el estudio del caso realizado, la organización puede mejorar la productividad del área de colado de tanques para inodoro de dos piezas utilizando sistemas automatizados basados en las herramientas Lean Manufacturing incrementado la productividad de 49% a un 67%.

- El análisis situacional del proceso de fabricación de tanques para inodoros reporta como principales limitantes en la productividad del proceso a los productos defectuosos y los tiempos de espera.
- Considerando ambas causas raíz se diseñó e implementó un plan de mejora basado en la herramienta Jidoka (Lean Manufacturing) para atacar los principales problemas generados por los limitantes de la productividad.
- Se logró proponer los sistemas de mejora con la aplicación de la herramienta Jidoka para el aseguramiento y control del proceso evidenciando una mejora de 63% a 78% de eficiencia del proceso de producción de tanques.

VI. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación forma parte de la tesis para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Industrial de los autores Valeria Crespo Montoya y William Torrejón Celis. Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por la Dirección de Investigación de la Universidad Tecnológica del Perú. Antony Bazan-Aguilar agradece a la universidad por el financiamiento otorgado mediante el contrato de investigación P-2022-LIM-12.

VII. REFERENCIAS

- [1] J. Pinter Junior, A. Zaccaron, S. Arcaro, J. B. Rodrigues Neto, A. de Noni Junior, and F. Raupp Pereira, "Novel approach to ensure the dimensional stability of large-format enameled porcelain stoneware tiles through water absorption control," *Open Ceram.*, vol. 9, p. 100203, 2022.
- [2] E. Rojas-Castro, Y. Sotomayor-Leyva, and G. Viacava-Campos, "A model to increase efficiency in a manufacturing S&ME in the cardboard sector applying SMED, TPM, 5S and JIDOKA," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2022-July, 2022.
- [3] S. Zhu, H. Lv, B. Zhong, and H. Gao, "Intelligent manufacture of

- sanitary ware structure design of vertical machine,” *E3S Web Conf.*, vol. 236, 2021.
- [4] S. S. Tavalley and C. Ganz, “Automation to Autonomy,” in *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 2019, pp. 31–34.
- [5] M. G. Grif, E. V. Geniatulina, and N. D. Ganelina, “Design and modelling in optimization of human-machine systems functioning,” in *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, 2015, pp. 1–5.
- [6] W. Yin and K. Wang, “Sanitary wares (Wash-basin) product industry situation and quality analysis,” *E3S Web Conf.*, vol. 267, 2021.
- [7] K. Ishida, K. Makino, and H. Terada, “Improvement of the Handling and Spreading Machine for Automated Bed Sheet Ironing Machine,” in *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2018, pp. 4288–4293.
- [8] Marta Herranz Díaz; Carlos Javier Martínez Martín, “El mercado de pavimentos y revestimientos cerámicos en el Perú,” Lima, 2009.
- [9] V. Prus, “An Integrated Approach to the Analysis of the Aging of Electric Machines,” in *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020, pp. 1–4.
- [10] C. L. Alves *et al.*, “Integrated process simulation of porcelain stoneware manufacturing using flowsheet simulation,” *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 33, pp. 473–487, 2021.
- [11] E. Berk and A. Ö. Toy, “Quality control chart design under Jidoka,” *Nav. Res. Logist.*, vol. 56, no. 5, pp. 465–477, Aug. 2009.
- [12] A. Rajpurohit, “Application of Lean Tools in Ceramic Industry: A Review,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 2652–2658, 2019.
- [13] D. Kleszcz, “Assessment of application of 5S practices in ceramic industry,” *Prod. Eng. Arch.*, vol. 16, no. 16, pp. 47–51, 2017.
- [14] A. P. Puvanasvaran, M. N. H. Ab. Hamid, and S. S. Yoong, “Cycle time reduction for coil setup process through standard work: Case study in ceramic industry,” *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 210–220, 2018.
- [15] J. Michaloski, F. Proctor, J. Arinez, and J. Berglund, “Toward the Ideal of Automating Production Optimization.” Nov-2013.
- [16] J. Bhamu and K. S. Sangwan, “Reduction of Post-kiln Rejections for Improving Sustainability in Ceramic Industry: A Case Study,” *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 618–623, 2015.
- [17] D. Barchi, A. Macchelli, G. Bosi, L. Marconi, D. Foschi, and M. Mezzetti, “Design of a Robust Adaptive Controller for a Hydraulic Press and Experimental Validation,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 2049–2064, 2021.
- [18] S. de Miranda, L. Patruno, M. Ricci, R. Saponelli, and F. Ubertini, “Ceramic sanitary wares: Prediction of the deformed shape after the production process,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 215, pp. 309–319, 2015.
- [19] L. Socconini, *Lean manufacturing: Paso a paso*. Alpha Editorial, 2019.
- [20] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*. Simon & Schuster UK, 2013.
- [21] D. Romero, P. Gaiardelli, D. Powell, T. Wuest, and M. Thürer, “Rethinking Jidoka Systems under Automation & Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 899–903, 2019.
- [22] J. Shook, *Managing to Learn: Using the A3 Management Process to Solve Problems, Gain Agreement, Mentor and Lead*. Lean Enterprise Institute, 2008.