MUND RECURSIV Revista Científica
Instituto Superior Tecnológico ATLANTIC
ISSN 2600-5700

Vol. 5 – Núm. 3
Julio – Diciembre - 2022

Procedimiento de análisis cualitativo para complementar la aprobación virtual del diseño de dispositivos de manufactura

Qualitative analysis procedure to complement the virtual approval of the design of manufacturing devices

Bruno Pereira Navarro Macedo[1]
brunopnmacedo@yahoo.com.br
Daniel René Tasé Velázquez[2]
dtasev88@gmail.com
Lorena Hernández Mastrapa[3]
lorenahmastrapa@gmail.com
Alexandre Tadeu Simon [4]
alexandre.simon@unimep.br

Recibido: abril/2022 **Aceptado:** agosto/2022 **Publicado:** diciembre/2022

Cómo citar:

Navarro, B.; Tasé, D.; Hernández, L.; Tadeu, A. (2022). Procedimiento de análisis cualitativo para complementar la aprobación virtual del diseño de dispositivos de manufactura. Revista Científica Mundo Recursivo, 5(3), 44-66.

[1] Máquinas Agrícolas Jacto, Marília, São Paulo. Brasil
[2]. PECEGE, Piracicaba, São Paulo. Brasil ORCID id: 0000-0002-3161-5898
[3] PECEGE, Piracicaba, São Paulo. Brasil. ORCID id: 0000-0002-1142-0532
[4] UNIMEP, Piracicaba, São Paulo. Brasil ORCID id: 0000-0003-1422-2766

Resumen

Brasil se ha consolidado a nivel mundial con un parque de industrias que lo colocado año tras año entre las economías más grandes del mundo, siendo un actor importante para la decisión de inversiones de los accionistas. Para aumentar esta participación en la producción industrial mundial, uno de los factores de competencia para las industrias son los bajos costos de la producción. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo realizar una propuesta de un procedimiento para análisis cualitativo para complementar la aprobación virtual del diseño de dispositivos de manufactura que contribuya a la identificación de fallas y oportunidades de mejora. A través de una investigación exploratoria de enfoque cualitativo y conceptual, y de acuerdo con las lecciones aprendidas en la implementación de dispositivos de una empresa en el interior de São Paulo, Brasil, la propuesta de procedimiento resultó en 73 requisitos de evaluación, que se organizaron en un formato jerárquico para determinación de posibles puntos de fallos de los dispositivos. El procedimiento propuesto permitió, a través de un historial de fracasos y éxitos en casos prácticos anteriores, enumerar lo que necesita ser evaluado y secuenciar lo que necesita ser evaluado primero. El trabajo desarrollado proporciona condiciones para reducir los esfuerzos y orientar la atención en su desarrollo a lo que realmente importa en cada momento de la secuencia de evaluación.

Palabras-clave: lean manufacturing; desarrollo de procesos; requerimientos; dispositivos de manufactura.

Abstract

Brazil has established itself at the global level with an industry park that places it year after year among the largest economies in the world, being an important player for the investment decision of shareholders. To increase this share in world industrial production, one of the factors of competition for industries is low production costs. In this context, this work aimed to make a proposal for a procedure for qualitative analysis to complement the virtual approval of the design of manufacturing devices that contributes to the identification of faults and opportunities for improvement. Through an exploratory research of qualitative and conceptual approach, and according to the lessons learned in the implementation of devices of a company in the interior of São Paulo, Brazil, the procedure proposal resulted in 73 evaluation requirements, which were organized in a hierarchical format for determining possible points of device failure. The proposed procedure allowed, through a history of failures and successes in previous practical cases, to enumerate what needs to be evaluated and to sequence what needs

to be evaluated first. The work developed provides conditions to reduce efforts and direct attention in its development to what really matters at each moment of the evaluation sequence.
Keywords: lean manufacturing; process development; requirements; manufacturing devices.

Introducción

Brasil fue clasificado en 2019 como el 16º productor mundial de participación en la producción mundial según la Confederación Nacional de la Industria [CNI] (CNI, 2020), con un PIB en 2020 de R$ 7,4 billones según el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, 2020). Para aumentar esta participación en la producción industrial mundial y el PIB anual, uno de los factores de competencia para las industrias son los bajos costos de producción.

En este sentido, el desarrollo *Lean* de nuevos procesos de fabricación o las mejoras en los procesos de fabricación existentes son tácticas para mejorar la eficiencia y la productividad general de la industria, lo que coloca a la industria en una condición mejor preparada para enfrentar la competencia en el mercado.

Para estar adecuadamente preparados para esta competencia, los competidores que pueden planificar adecuadamente sus proyectos están más preparados para lograr sus objetivos. En el aspecto de gestión de proyectos, el grupo de procesos de planificación se presiona directamente para que la planificación del cronograma, la definición de actividades y la secuencia de actividades de estos proyectos sea efectiva y asertiva la primera vez. La planificación de las actividades de verificación de la calidad de estos proyectos aún en su fase virtual también pone a los jugadores en mejores condiciones de resultados, ya que esta condición virtual permite anticipar el retrabajo y reducir los costos de implementación del proyecto.

Esta inercia en la planificación del proyecto de productos y procesos presiona a las empresas a hacer lo correcto la primera vez, con eliminación de residuos y mantenimiento de los presupuestos de desarrollo de procesos dentro del plan inicial con la eliminación de retrabajos y residuos (Caetano, 2001).

Para lograr esta asertividad aún en la fase virtual de diseño de productos y procesos, las nuevas tecnologías para evaluar estos pasos se han intensificado en la última década, lo que pone de relieve la realidad virtual. Se pueden encontrar varios trabajos de aplicaciones de realidad virtual para resolver problemas de desarrollo de procesos (Alexopoulos et al., 2013; Berg y Vance, 2016; Tolio et al., 2013). Una de las contrapartes relevantes de estos métodos es que generalmente son *software* con costo de adquisición y a menudo necesitan invertir en adquisiciones de períodos de licencias para usar la herramienta.

Se percibe una dificultad en la implementación de estas técnicas de realidad virtual en pequeñas y medianas industrias brasileñas. La mayoría de las veces, aún no han alcanzado una madurez técnico-económica a la que estén dispuestos a invertir y ver resultados en esta asignación de recursos para la simulación de fabricación virtual y la asertividad en su desarrollo de procesos de fabricación. En la región interior de São Paulo, sede de esta obra, el patrón de desarrollo es de tácticas de ensayo y error.

El resultado de esto son pérdidas económicas con gastos en correcciones de dispositivos de fabricación mal caracterizados y evaluados en la fase de diseño virtual, falta de estándar entre las evaluaciones de aprobación de dispositivos y equipos para la ejecución, baja tasa de logro y reproducción de la calidad del proceso entre los procesos establecidos y nuevos, retrasos para su implementación y disponibilidad para la producción. La consecuencia final de estas fallas es el retraso en los cronogramas de aumento de eficiencia y productividad que las herramientas propias aportan a la operación, incluso la deficiencia de seguridad operacional para ensambladores y usuarios finales (Di Zhang et al., 2012).

Por lo tanto, este segmento de la industria necesita una metodología particular que les ayude a calificar ciertas funciones generales de sus equipos de fabricación durante el diseño virtual, de modo que la aprobación de la ejecución de estos proyectos virtuales pueda abarcar todas las variables de interfaz del dispositivo con el usuario, con el producto y con su entorno cercano y directo.

Esta necesidad está relacionada con la manufactura *Lean*, conocida internacionalmente como “Lean manufacturing”, o “Toyota Production System [TPS]” o en forma abreviada: "Lean" o TPS. El enfoque *Lean* apareció en Japón en Toyota Motor Company en un contexto de racionalización de la fabricación debido a la escasez de recursos en un escenario de posguerra (Pagano, 2009). Según Womack et al. (2004), *Lean* es una forma de especificar valor, alinear en una mejor secuencia las acciones que crean valor para el cliente, realizarlas sin interrupciones una vez activadas, y cada vez más efectivas.

En este sentido, se busca un procedimiento basado en el pensamiento *Lean* para evaluar proyectos virtuales. En una revisión de literatura, se encontraron varios procedimientos para evaluar la implantación lean en organizaciones que podrían adaptarse para la evaluación de equipos industriales, como, por ejemplo: "Strategos Lean Assessment Questionnaire" (Strategos, 2006), "Rapid Plant Assessment" (Goodson, 2002), "Kobayashi's 20 Keys" (Kobayashi, 1994). Sin embargo, ninguno de ellos busca una conexión directa y no contribuyen para ayudar en la aprobación para la ejecución de proyectos virtuales de dispositivos y equipos de fabricación aún en su fase de diseño virtual. Abordan la intensidad general del pensamiento

Lean implementado en la organización en lugar de otorgar subvenciones para calificar un proyecto de dispositivo virtual para su aprobación, se centran en este trabajo: el enfoque de esos procedimientos es otro.

En este sentido, la investigación tiene como desafío resolver el problema de la ausencia de una guía de requisitos para la evaluación del diseño virtual de dispositivos y equipos especiales para la fabricación que contribuyan a la identificación de fallas y oportunidades de mejora a bajo costo. Estas dificultades se encuentran en el área de ingeniería industrial de una empresa de ensamblaje de maquinaria agrícola en el interior del estado de São Paulo, Brasil, que es el campo de acción de este trabajo.

El objetivo de este trabajo es proponer una lista de requisitos para el análisis cualitativo que complemente la aprobación virtual del diseño de dispositivos de manufactura que contribuya a la identificación de fallas y oportunidades de mejora a bajo costo.

Metodología

El estudio se caracteriza por ser una investigación exploratoria de enfoque cualitativo llevada a cabo a través del método de investigación-acción, en la que el autor de este trabajo tiene inmersión en el problema colectivo, y también los descubrimientos resultantes contribuirán a la base de conocimiento del tema, de acuerdo con los objetivos básicos de los diversos enfoques de investigación-acción propuestos por Thiollent (2005). En este sentido, las etapas de esta investigación fueron las siguientes:

(I) Reconocimiento y datos sobre el problema: inicialmente se realizaron visitas al sector de la ingeniería industrial para estudiar los procesos actuales relacionados con el flujo de aprobación de proyectos de dispositivos virtuales. En esta etapa, se analizaron varios proyectos virtuales y se recopiló información sobre cómo se aprobaron. También se construyeron diagramas de flujo para facilitar el diálogo entre las partes involucradas;

(II) Plan de solución: desde la comprensión de cómo se aprueban los proyectos de dispositivos virtuales, se percibió la necesidad de establecer un estándar de información (los requisitos) para que exista un estándar mínimo de calidad de aprobación entre los diferentes procesadores, independientemente de su nivel de experiencia (de junior a senior). Este patrón se planificó en una hoja de requisitos para su evaluación;

III) Elaboración de requisitos: el modelo propuesto para la elaboración de la tabla de requisitos se basó en un consenso entre los especialistas de proceso de que el aspecto más importante en el diseño de equipos industriales es su nivel de seguridad operacional; en la

secuencia vienen los otros niveles. Ante estos datos iniciales, se percibió que los requerimientos tenían una secuencia de respuestas más urgente que otras, en analogía con el trabajo de Maslow, sobre motivación y necesidad humana (1943). Luego surge la necesidad de entender y definir cuáles serían los alcances de las capas de necesidades para la aprobación de proyectos virtuales, que se estableció a partir de trabajos publicados y también en discusiones del problema con el área de ingeniería industrial;

(IV) Asignación de requisitos: Los proyectos de dispositivos virtuales tienen varias interfaces que se pueden evaluar incluso en esta fase virtual. De acuerdo con la experiencia de fracasos y éxitos en el despliegue de dispositivos de esta empresa en el interior de São Paulo, con una base de datos de proyectos implementados entre 2013 y 2020, los requisitos fueron identificados y asignados en un enfoque propuesto de secuencia de necesidades de servicio;

(V) Desempeño de la evaluación: desde la base bibliográfica, se percibió la necesidad de indicar el desempeño de esta evaluación en un número que se traduce cuando se cumplió el requisito y cuando no se produjo. Por lo tanto, una táctica de puntuación se adaptó cuando el requisito bajo análisis fue aprobado o reprobado;

(VI) Clasificación de la evaluación: después del desempeño, se adaptó una clasificación en la que el desempeño se puede traducir en un resultado porcentual, lo que trajo una interpretación de cuánto se cumplió la jerarquía bajo análisis.

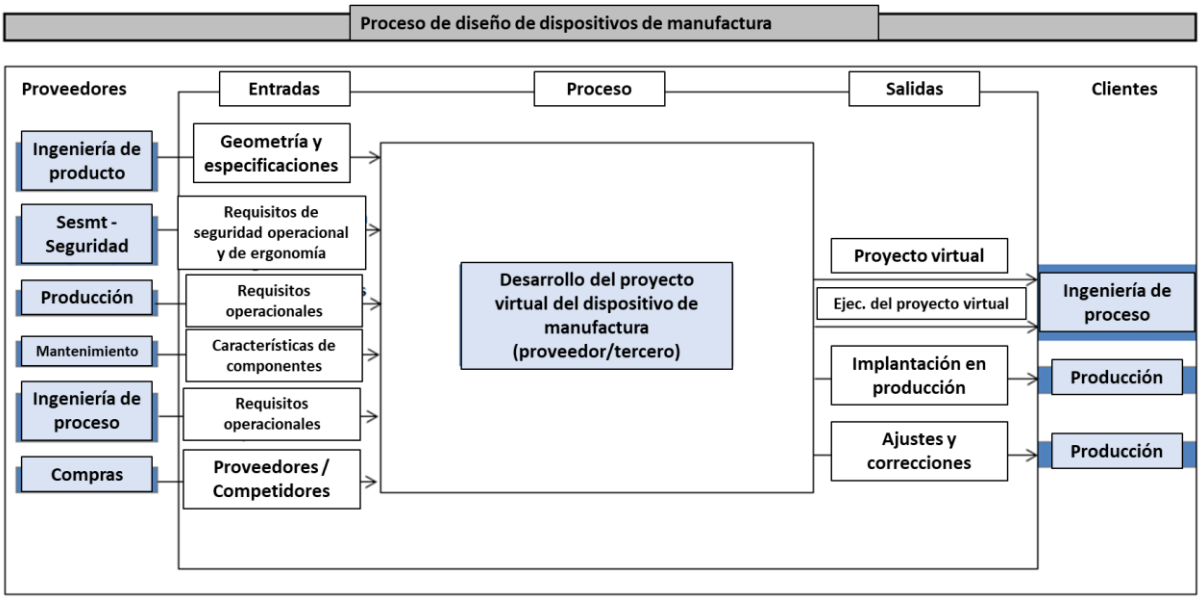
Definición y flujo de desarrollo de dispositivos

En esta área de la ingeniería industrial y de acuerdo con las prácticas industriales, el dispositivo de manufactura o ensamblaje es un equipo industrial especialmente diseñado para la fabricación de un producto que permite el despliegue en producción y a gran escala en el que ciertas especificaciones de ingeniería de productos, seguridad operativa y requisitos de productividad deben cumplirse con la repetición de un proceso estandarizado. A modo de ejemplo, para poder fabricar un conjunto soldado dentro de las especificaciones de ingeniería de producto o para poder montar un conjunto final con varios componentes más pequeños relacionados entre sí, es necesario bases, limitadores, cerraduras, uniones y referencias para poder cumplir con las especificaciones solicitadas por la ingeniería de producto.

Para una visión general de las principales etapas del proceso de generación del diseño virtual del dispositivo de manufactura en esta industria, el resumen de entradas y salidas de este proceso se elevó en el formato “Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers [SIPOC]", como se muestra en la Figura 1. Al usar el SIPOC, se pueden identificar las entradas, salidas, clientes y proveedores de este proceso en su conjunto.

Figura 1.

"Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers [SIPOC]" del proceso de diseño del dispositivo de manufactura

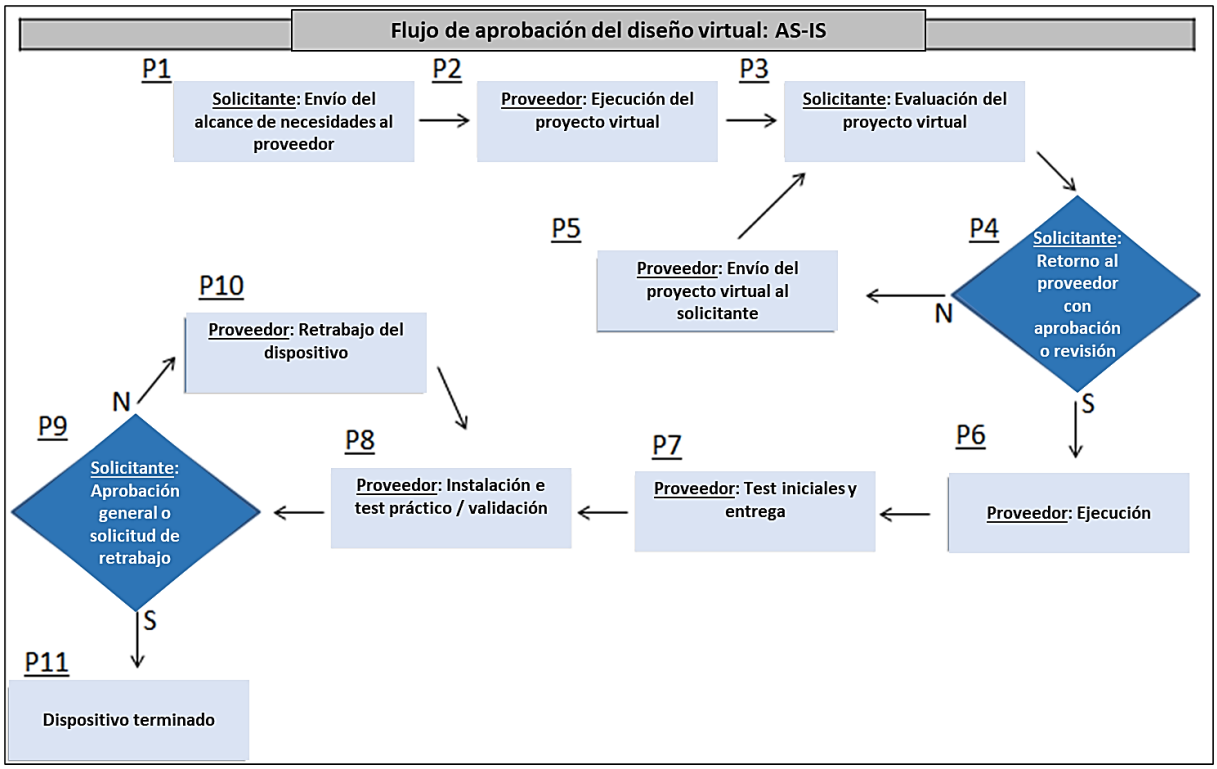


Se pudo observar (Figura 1) que existen entradas de seis áreas diferentes con requerimientos para el diseño del dispositivo de fabricación, todos ellos recogidos y consolidados en un ámbito por ingeniería de procesos, responsable de implementar nuevos equipos de fabricación en producción, y que el diseño y ejecución de estos dispositivos se realizan en proveedores (terceros), con los que existe una intensa comunicación tras la confirmación de ganancia de competencia de compras para llevar a cabo el trabajo.

Para sintetizar este flujo, se utilizó el método “as-is/to-be”. Este método es una fase de la metodología "Business Process Management [BPM]" elaborada por la "Association of Business Process Management Professionals [ABPMP]", en la que "as is" considera las interfaces y flujos de los procesos actuales de un área u organización, a medida que se llevan a cabo tales actividades. El "to-be" considera el diseño de las interfaces y flujos deseados (futuros) de esta área u organización, siendo una mejor situación para realizar un proceso que la encontrada inicialmente. La Figura 2 representa el macroproceso de la situación encontrada inicialmente en el desarrollo de dispositivos. Ilustra el flujo de información y actividades del solicitante (procesador) del proyecto virtual y del proveedor responsable de su construcción, ejecución e instalación virtual.

Figura 2.

Situación inicial del flujo del proyecto virtual ("as is"). P: paso; N: no; S: sí

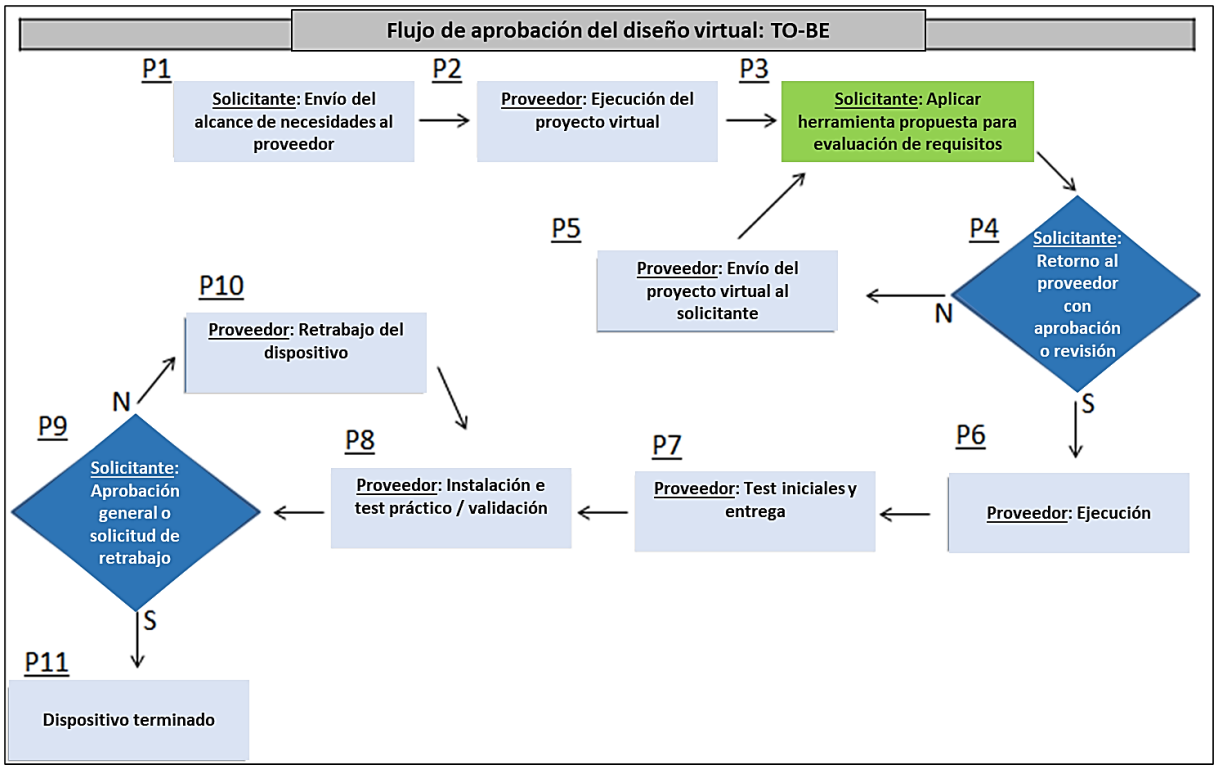


En el flujo inicial (Figura 2), se observó la presentación de 11 pasos (P) en los que pueden tener 02 momentos de iteración: en el momento de la aprobación del proyecto virtual o en el momento de la validación y aprobación del dispositivo ejecutado e instalado. En el flujo planteado y en los proyectos analizados, se confirmó la ausencia de un procedimiento virtual de evaluación de proyectos, los dispositivos fueron evaluados esencialmente por la experiencia de los procesadores y sus responsables y la historia de proyectos pasados. Esta táctica informal permitió que las fallas y las brechas de desarrollo llevaran a muchos proyectos a reelaborar rondas entre los pasos P8 y P10, aumentando los plazos y los costos de implementación de nuevos equipos en la planta.

El flujo propuesto (Figura 3) presenta un cambio en el paso P3: en lugar de ser una evaluación informal y no sistematizada, se convierte en la aplicación de un procedimiento de evaluación cualitativa general de los requisitos para permitir una decisión de mayor calidad para la aprobación virtual del proyecto o la generación de revisión virtual del proyecto.

Figura 3.

Proceso deseado para el flujo de proyectos virtuales ("to-be")



Jerarquía de requisitos de aprobación para diseño de dispositivos virtuales

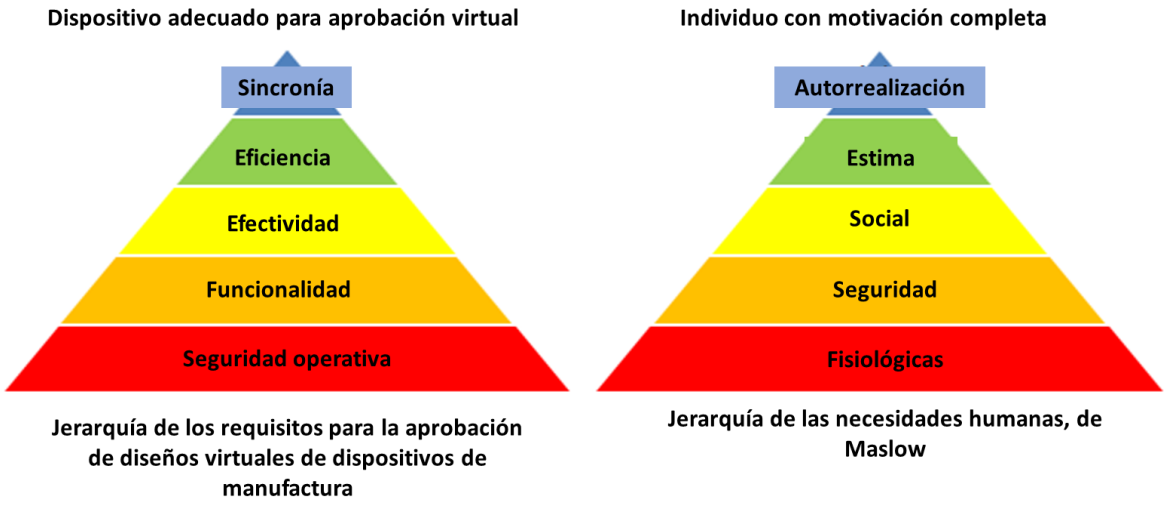
Todos los equipos y dispositivos de fabricación se pueden ejecutar con excelencia, independientemente de su nivel de complejidad dentro de su ámbito de funciones. Para ello es necesario cubrir, uno a uno, los requisitos de fabricación en un cierto orden de precedencia.

Gonçalves y Salonitis (2017) propusieron un procedimiento con enfoque lean para la evaluación del trabajo en líneas de montaje, en el que destacaron los requisitos de evaluación en analogía con el trabajo de la jerarquía de necesidades de Maslow (1943). Para entender lo que motiva a las personas, Maslow presentó una jerarquía en la que las necesidades consideradas de nivel inferior, desde la base de la pirámide, son primarias y deben ser respondidas primero; más tarde vienen las necesidades de nivel superior. Según esta teoría, así como el ser humano satisface cada capa de necesidad en esta escalada, en la cima de la pirámide se puede lograr su plena autorrealización, tanto a nivel personal como profesional, con total motivación. En este trabajo, se aplicó el mismo principio para proponer requisitos de aprobación para el diseño virtual de dispositivos de manufactura, donde fue posible alcanzar una jerarquía de necesidades básicas para el diseño virtual de estos dispositivos, resumidas en la Figura 4. La seguridad operativa, la funcionalidad básica, la eficacia, la eficiencia y la sincronía son las cinco capas necesarias para alcanzar la excelencia cualitativa para la

aprobación de proyectos virtuales, definidas en analogía con la jerarquía de las necesidades de Maslow y en función de las ocurrencias más relevantes de problemas en el despliegue de dispositivos de manufactura de esta industria bajo análisis.

Figura 4.

Jerarquía de los requisitos para la aprobación de proyectos de dispositivos virtuales (izq.) y la jerarquía de necesidades de Maslow (der.).



Nota: Elaborado por el autor a partir de Gonçalves y Salonitis (2017)

A diferencia de la propuesta de Gonçalves y Salonitis (2017), en el diseño virtual de dispositivos es fundamental garantizar la seguridad operativa, ya que si es necesario cambiar el dispositivo después de su ejecución se producen cambios de impacto significativo, alto costo y tiempo de finalización, parada del dispositivo y lo más importante de ellos, implican riesgos para la seguridad operativa del usuario y cliente final de uso de la herramienta. La necesidad de satisfacción mencionada por ellos, en esta propuesta de requisitos de aprobación del proyecto fue reemplazada por la sincronía, ya que todavía en el proyecto virtual es posible considerar cómo la conexión del dispositivo con sus usuarios, proveedores (entradas) y clientes (salidas) y la armonía planificada en esta interacción en el momento del despliegue, y esta sincronía es la satisfacción de todas las partes interesadas con el dispositivo. Un equipo industrial que no tiene sincronía en sus interfaces y conexiones entre sus proveedores, operadores/usuarios, y clientes de su proceso no tiene satisfacción ni éxito completo siendo objeto de constantes correcciones o incluso en casos extremos dejados a utilizar por los propios operadores generando procesos improvisados en su lugar.

La Figura 5 muestra la construcción piramidal de los requisitos de aprobación de los proyectos de dispositivos de fabricación virtual y sigue la descripción de la conexión a las necesidades de Maslow.

Figura 5.

Jerarquía de los requisitos para la aprobación de proyectos de dispositivos virtuales



- Seguridad operacional

a) En la analogía con Maslow (necesidades fisiológicas), la seguridad operacional es un requisito básico y vital, ya que el trabajo es parte del camino para prosperar en la vida, no para perder la vida.

b) En las necesidades de los dispositivos, debe garantizar que el diseño virtual en el primer análisis cualitativo esté libre de riesgos de accidentes y lesiones para los operadores y usuarios finales.

- Funcionalidad

a) En analogía con Maslow (seguridad), la funcionalidad es el siguiente requisito de la jerarquía de dispositivos, con el fin de garantizar que el equipo funcione y transmita esta confianza a su usuario.

b) En las necesidades de los dispositivos, busca confirmar si las interacciones entre dispositivo y producto son posibles de realizar de la manera planificada y alcanzar las especificaciones de fabricación inicialmente consideradas, tales como ausencia de interferencias mecánicas durante su uso y son posibles los accesos de montaje/fabricación en la interfaz con llaves y herramientas.

- Efectividad

a) En la analogía con Maslow (estimación), se refiere a la adecuación del proyecto virtual propuesto a las necesidades reales propuestas, capa de variables que necesitan estar en sintonía en un grupo de personas que se verán afectadas por la deficiencia de este equipo – vinculando relación y pertenencia a Maslow.

b) En las necesidades de los dispositivos, una vez con el diseño virtual disponible, atender a los clientes y usuarios finales del dispositivo, así como en los proveedores de insumos en el dispositivo (ya sea información o materiales y piezas, incluyendo el área de mantenimiento eléctrico/mecánico/hidráulico) y discutir la solución propuesta, si no hay desviaciones de rutas de la idea inicialmente trazada en alcance y la que se va a confirmar en el proyecto virtual.

- Eficacia

a) En la analogía con Maslow (estima), la eficiencia es el resultado de una lectura de valor y respeto que aporta el nuevo equipo, también vinculado al tipo de problema que resolvió el dispositivo (cuanto más difíciles y crónicos son los problemas de la industria, generalmente más respetados son los equipos de esta industria objetivo del estudio).

b) En las necesidades de los dispositivos, se relaciona con la cantidad de recursos necesarios para construir este dispositivo y también durante su funcionamiento, su flexibilidad para permitir actualizaciones de diseño industrial, nivel de simplicidad, aplicabilidad - fabricación del dispositivo adecuado para el problema correcto - robustez para resolver el problema, reducción de tiempos en el trabajo estandarizado.

- Sincronía

a) En la analogía con Maslow (autorrealización), la sincronía es la parte superior de las necesidades de los requisitos del dispositivo, donde la confirmación previa en seguridad operativa, funcionalidad, eficacia y eficiencia permiten que el equipo esté presente en los planes estratégicos inmediatos y en los próximos de la empresa, con posibilidades de actualizaciones y nuevas funcionalidades.

b) En las necesidades de los dispositivos, la sincronía está relacionada con los requisitos de evaluación para que el dispositivo pueda integrarse completamente en la celda de trabajo, con el resto de equipos y cultura de trabajo, de modo que en un equilibrio final de esta capa el

dispositivo pueda tener valor y ser reconocido por sus usuarios y, clientes, proveedores directos, como agregador de soluciones, que reduce los esfuerzos de producción durante la jornada laboral, dentro de la mini empresa en la que se implementó el nuevo dispositivo, en el concepto de organización de producción defendido por Suzaki (1993), en el que se organiza la industria bajo análisis.

Identificación y asociación de requisitos por capas de la pirámide

Se realizaron los siguientes pasos para evaluar los requisitos:

(I) Identificación del requisito y la necesidad del requisito en forma de palabra-clave.

(II) Asociación de requisitos con la capa de la jerarquía de necesidad.

(III) Detallar el requisito en frase-pregunta: utilizando una técnica similar a la de Goodson (2002) y Strategos (2006) en sus procedimientos de evaluación de plantas industriales, el formato de pregunta contribuye a direccionar el pensamiento del usuario sobre la evaluación necesaria del requisito.

La secuencia de los tres pasos anteriores (identificación, asociación, frase-pregunta) tenía como objetivo, respectivamente, nombrar qué ocurrencia evaluaría el requisito (por ejemplo, prensar los dedos es el resultado de la identificación de requisito de un elemento de registro de lecciones aprendida de proyectos anteriores), asignar el requisito con la capa jerárquica de necesidades con la que tiene similitud (por ejemplo, prensar los dedos tiene similitud en la capa de seguridad operativa), y finalmente, detallar este requisito en una frase-pregunta, lo que hace que sea más fácil cómo usar el requisito en la evaluación de un proyecto virtual.

Resultados y discusión

La Figura 6 muestra un ejemplo de los dispositivos objeto de estudio. También en esta Figura puede visualizarse el proyecto virtual del dispositivo (izq.) y la siguiente imagen del proyecto virtual que se ejecuta (der.). El diseño de dispositivo virtual es la construcción virtual de un equipo industrial de manufactura asistida por computadora, dentro de un software especializado para este propósito, en el que el equipo se construye digitalmente con especificaciones reales como aquellas a las que se desplegará y ejecutará mediante herramientas y finalmente en uso por el operador cliente de este equipo.

Figura 6.

Ejemplo de diseño virtual de dispositivo de fabricación (izq.) y su ejecución real (der.).



Nota: Projetechrs (2021)

En la Tablas 1, 2, 3, 4 y 5 se presentan las listas de necesidades propuestas. Esta lista está de acuerdo con la jerarquía de requisitos de aprobación para proyectos de dispositivos de manufactura virtual presentada anteriormente en la Figura 5. De acuerdo con la experiencia de fracasos y éxitos en el despliegue de dispositivos de esta empresa en el interior de São Paulo, con una base de datos de proyectos implementados entre 2013 y 2020 – archivos de lecciones aprendidas – los requisitos fueron identificados y asignados en un enfoque propuesto de secuencia de necesidades de servicio. A partir de esta metodología propuesta, se generaron 73 requerimientos distribuidos en las 05 capas propuestas para priorizar el proyecto virtual.

Tabla 1.

Requisitos para el análisis de proyectos virtuales - nivel N1

R	N1 - Seguridad Operacional	Respuesta	
R01	¿Se pueden prensar o lesionar los dedos en las esquinas o partes del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R02	¿Se pueden prensar o lesionar las manos en las esquinas o partes del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R03	¿Se pueden prensar o lesionar los brazos en las esquinas o partes del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R04	¿Se pueden cortar los dedos/manos/brazos en esquinas o partes del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R05	¿Hay una inclinación permanente de la columna durante la operación?	Sí: Repr.	No: Adec.
R06	¿Hay fuerza excesiva para operar el dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R07	¿Hay alguna parte móvil expuesta?	Sí: Repr.	No: Adec.
R08	¿Hay partes sobresalientes que golpean el cuerpo del operador?	Sí: Repr.	No: Adec.
R09	¿Hay partes sobresalientes que hacen que el operador tropiece sobre los pies?	Sí: Repr.	No: Adec.
R10	¿Pueden caer partes del dispositivo o producto sobre el pie o la pierna del operador?	Sí: Repr.	No: Adec.
R11	¿Altura del dispositivo demasiado baja (forzar el cuerpo) para la operación?	Sí: Repr.	No: Adec.
R12	¿La altura del dispositivo es demasiado alta (forzar el cuerpo) para la operación?	Sí: Repr.	No: Adec.
R13	¿Pueden las cerraduras y abrazaderas causar lesiones?	Sí: Repr.	No: Adec.
R14	¿El producto puede caer / propina desde el dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R15	¿El dispositivo o parte de él puede volcarse?	Sí: Repr.	No: Adec.
R16	¿Está el dispositivo en regiones débiles que pueden romperse/fallar?	Sí: Repr.	No: Adec.
R17	¿El dispositivo emite humo u olor?	Sí: Repr.	No: Adec.
R18	¿Las piezas eléctricas son seguras de NR10 y NR12?	Sí: Adec	No: Repr.
R19	¿Las piezas mecánicas cuentan con informe de dimensionamiento estructural?	Sí: Adec	No: Repr.
R20	¿Las piezas hidráulicas cuentan con informe de dimensionamiento estructural?	Sí: Adec	No: Repr.
R21	¿Los informes dimensionales respaldan el peso y los movimientos del producto?	Sí: Adec	No: Repr.

Nota: Requisito [R]; Reprobado [Repr.]; Adecuado [Adec.]; Nivel 1 [N1].

Tabla 2.

Requisitos para el análisis de proyectos virtuales - nivel N2

R	N2 - Funcionalidad	Respuesta	
R01	¿El producto tiene interferencias con el dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R02	¿Las articulaciones, los movimientos y los grados de libertad del dispositivo coinciden o interfieren en otras regiones del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.
R03	¿Las cunas que acomodan el producto permiten la entrada/salida del dispositivo?	Sí: Adec	No: Repr.
R04	¿Pueden las abrazaderas del dispositivo debajo del producto bloquear la pieza?	Sí: Adec	No: Repr.
R05	¿Las abrazaderas del dispositivo debajo del producto permiten la salida del producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R06	¿El dispositivo permite el ensamblaje propuesto o la secuencia de fabricación?	Sí: Adec	No: Repr.
R07	¿La secuencia de ensamblaje/fabricación propuesta genera el producto deseado?	Sí: Adec	No: Repr.
R08	¿Se puede repetir la secuencia de montaje/fabricación propuesta en el dispositivo?	Sí: Adec	No: Repr.
R09	¿La secuencia de ensamblaje/fabricación propuesta en el dispositivo es lo más simple posible?	Sí: Adec	No: Repr.
R10	¿Falta la configuración del dispositivo o es lo más simple posible?	Sí: Adec	No: Repr.
R11	¿El dispositivo contiene *poka yokes* para evitar fallos de operación?	Sí: Adec	No: Repr.
R12	¿El dispositivo le permite cumplir con las especificaciones de ingeniería del producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R13	¿Se observaron las rondanas del dispositivo por su diámetro?	Sí: Adec	No: Repr.
R14	¿El material de la banda de rodaje es adecuado para el piso?	Sí: Adec	No: Repr.
R15	¿El dispositivo le permite rayar, dañar o fallar el producto durante su uso?	Sí: Repr.	No: Adec.
R16	¿Tiene el dispositivo el acceso adecuado para poder colocar el producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R17	¿Tiene el dispositivo el acceso adecuado para poder montar/fabricar el producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R18	¿Tiene el dispositivo el acceso adecuado para poder retirar el producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R19	¿El dispositivo tiene el acceso correcto para entrar con llaves mecánicas?	Sí: Adec	No: Repr.
R20	¿El dispositivo tiene el acceso adecuado para introducir abrazaderas?	Sí: Adec	No: Repr.
R21	¿El dispositivo permite que esté conectado a tierra?	Sí: Adec	No: Repr.
R22	¿Puede el dispositivo permanecer parado durante su uso?	Sí: Adec	No: Repr.
R23	¿Puede el producto aflojarse demasiado en las bases y cerraduras del dispositivo?	Sí: Repr.	No: Adec.

Nota: Requisito [R]; Reprobado [Repr.]; Adecuado [Adec.]; Nivel 2 [N2].

Tabla 3.

Requisitos para análisis y diseño virtual - nivel N3

R	N3 - Eficacia	Respuesta	
R01	¿El proyecto virtual se mostró a los usuarios finales?	Sí: Repr.	No: Adec.
R02	¿Se mostró el proyecto virtual al equipo de mantenimiento de máquinas de la empresa?	Sí: Repr.	No: Adec.
R03	¿Se mostró el proyecto virtual al equipo de seguridad industrial?	Sí: Adec	No: Repr.
R04	¿Las partes interesadas que evaluaron el proyecto virtual presentaron sesgo durante la evaluación?	Sí: Adec	No: Repr.
R05	¿Se han evaluado las consideraciones del usuario final y se han devuelto al proyecto virtual?	Sí: Adec	No: Repr.
R06	¿Se han evaluado las consideraciones del equipo de mantenimiento de la máquina y se han devuelto al proyecto virtual?	Sí: Adec	No: Repr.
R07	¿Será el mantenimiento del dispositivo lo más bajo y menos costoso posible?	Sí: Adec	No: Repr.
R08	¿Se evaluaron las consideraciones de seguridad industrial y equipo y se devolvieron en el proyecto virtual?	Sí: Adec	No: Repr.
R09	¿El proyecto virtual fue presentado por el diseñador para entender sus consideraciones sobre el concepto del proyecto virtual?	Sí: Adec	No: Repr.

Nota: Requisito [R]; Reprobado [Repr.]; Adecuado [Adec.]; Nivel 3 [N3].

Tabla 4.

Requisitos para el análisis de proyectos virtuales - nivel N4

R	N4 - Eficiencia	Respuesta	
R01	¿El proyecto virtual consideró el material mínimo requerido para la construcción/ejecución?	Sí: Adec	No: Repr.
R02	¿El proyecto virtual aporta ganancias de tiempo al reducir el tiempo de operación en comparación con la condición actual?	Sí: Adec	No: Repr.
R03	¿El proyecto virtual considera la ejecución en el menor tiempo posible?	Sí: Adec	No: Repr.
R04	¿Dl diseño virtual se pueden quitar materiales y piezas, pero no fue así?	Sí: Repr.	No: Adec.
R05	¿Es la solución de diseño virtual lo más simple y directa posible para la solución deseada?	Sí: Adec	No: Repr.
R06	¿El diseño virtual tiene una complejidad de construcción excesiva?	Sí: Repr.	No: Adec.
R07	Al simular el funcionamiento del proyecto virtual, ¿consume la menor cantidad de energía posible, como el aire eléctrico y comprimido?	Sí: Adec	No: Repr.
R08	¿Es complejo el dispositivo en la construcción que no permite futuros cambios de producto?	Sí: Repr.	No: Adec.
R09	¿El proyecto virtual considera o necesita estar cerca de algún área especial?	Sí: Repr.	No: Adec.
R10	¿El diseño virtual permite la simplicidad para las actualizaciones de diseño industrial?	Sí: Adec	No: Repr.
R11	¿Puede el proyecto virtual resolver el problema propuesto con el producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R12	¿Es el proyecto virtual emitido el mejor enfoque para resolver el problema?	Sí: Adec	No: Repr.

Nota: Requisito [R]; Reprobado [Repr.]; Adecuado [Adec.]; Nivel 4 [N4].

Tabla 5.
Requisitos para análisis y diseño virtual - nivel N5

R	N5 - Sincronía	Respuesta	
R01	¿Se puede integrar el proyecto virtual en la célula de trabajo considerada?	Sí: Adec	No: Repr.
R02	¿El proyecto virtual tiene un flujo óptimo de entrada, transformación y salida del producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R03	¿Se puede integrar el proyecto virtual con máquinas celulares de trabajo?	Sí: Adec	No: Repr.
R04	¿El proyecto virtual considera la cultura de trabajo del área?	Sí: Adec	No: Repr.
R05	¿Se puede considerar el proyecto virtual en los planes a corto y mediano plazo del producto?	Sí: Adec	No: Repr.
R06	¿Se puede considerar el proyecto virtual en los planes de corto y mediano plazo de la zona?	Sí: Adec	No: Repr.
R07	¿Se puede considerar el proyecto virtual en los planes a corto y mediano plazo de la empresa?	Sí: Adec	No: Repr.
R08	¿El proyecto virtual aportó valor y satisfacción al cliente final?	Sí: Adec	No: Repr.

Nota: Requisito [R]; Reprobado [Repr.]; Adecuado [Adec.]; Nivel 5 [N5].

Los requisitos propuestos en el estudio se compararon con la literatura: Gonçalves y Salonitis (2017), "Strategos Lean Assessment Questionnaire" (Strategos, 2006), "Rapid Plant Assessment" (Goodson, 2002), "Kobayashi's 20 Keys" (Kobayashi, 1994). Al principio, el punto positivo de los requisitos generados es permitir una evaluación cualitativa inicial de dispositivos de manufactura especiales, y no solo de plantas industriales, que es el foco de la literatura. Otro punto positivo que tuvo sentido para este trabajo fue la implementación evidenciada de los requisitos en capas de prioridades de evaluación, basadas en la analogía de la jerarquía de las necesidades de Maslow.

En las industrias, la seguridad operacional es una prioridad básica e inicial en la evaluación para la adquisición de nuevos equipos, y aplicar los requisitos planteados en una capa inicial de evaluación de seguridad le permite denotar un estado general que el diseño del dispositivo ofrece o no ofrece en seguridad a su usuario. Una vez que se resuelve este nivel básico, hay seguridad para confirmar las demás características del dispositivo.

En la literatura, las capas de evaluación se encontraron por área industrial – por ejemplo, mantenimiento, almacén, calidad – y para este enfoque de evaluación de equipos industriales no se tiene una conexión directa.

En otro sentido de evaluación de los requerimientos generados, el número de preguntas generadas no caracteriza el procedimiento generado como de uso rápido. El usuario debe conectar cada pregunta con notas sobre el proyecto virtual. Si por un lado es un punto positivo porque obliga a la aprobación de proyectos virtuales con evaluaciones estructuradas, sin

necesidad de comprar o invertir en software o soluciones independientes, por otro lado, se tiene una base de requisitos de uso manual que requiere un cierto tiempo de aplicación y generación de resultados.

Desempeño de la evaluación

A partir de la propuesta de puntuación descrita en el trabajo Gonçalves e Salonitis (2017), se adaptó una propuesta de sistema de puntuación para que el usuario tenga una lectura y dirección de acciones sobre el resultado de la evaluación de su proyecto virtual, presentada en la Tabla 6.

Tabla 6.

Número de puntos por respuestas permitidas

Respuesta	Adecuado	Parcialmente adecuado	Reprobado
Número de puntos	10	5	0

Según esta propuesta, si el requisito se cumple plenamente, recibe 10 puntos. Si se atiende parcialmente, de modo que aún existan brechas de desarrollo en el parámetro bajo análisis, recibe 5 puntos. Si no fue posible evidenciar la respuesta del requisito en el proyecto virtual, el requisito es reprobado y recibe 0 puntos.

Calificación

A seguir, la puntuación en cada capa de jerarquía se transforma en un porcentaje, utilizando la Tabla 1 y Eq. (1):

$$\% \text{ Puntuación} = \frac{\sum \text{puntos obtenidos}}{\sum \text{pontos posibles}} \quad (1)$$

donde, % puntuación es el porcentaje de puntuación del nivel jerárquico objeto de evaluación, $\sum$ puntos obtenidos es la suma de la puntuación obtenida en ese nivel de evaluación, y $\sum$ puntos posibles es la suma de los puntos aplicables y posibles de puntuar en el nivel de jerarquía en cuestión.

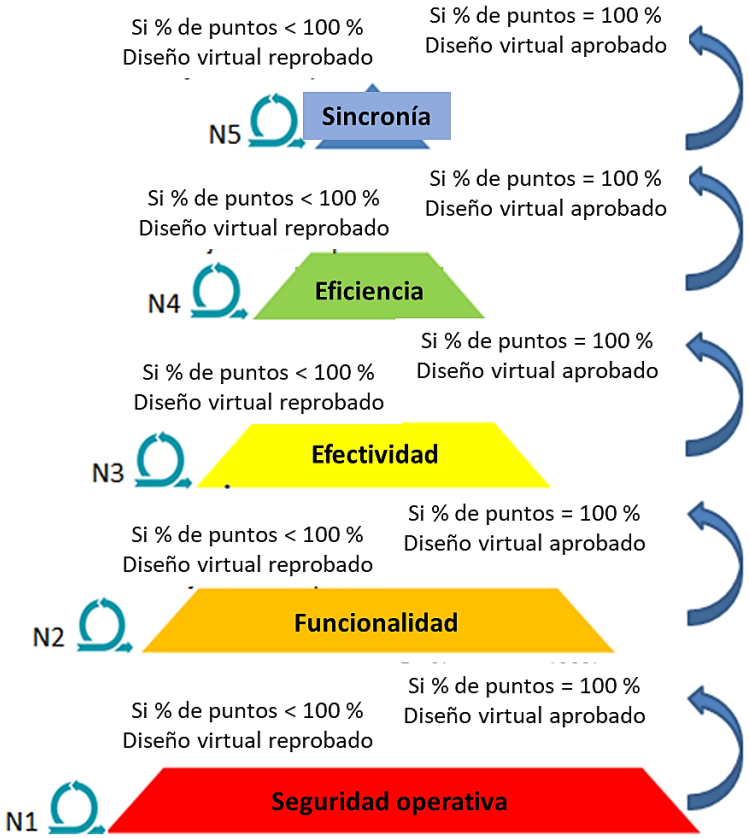
El porcentaje puede pasar del 0 % al 100 %, dentro de los puntos posibles – que es la suma de la puntuación de los requisitos evaluados, entiendo que los requisitos evaluados son los que se encuentran en el proyecto virtual. Debido a que los proyectos de dispositivos son proyectos especiales, es posible que no se encuentren algunos requisitos en el proyecto bajo

revisión. Para estos casos, el procedimiento consideró una columna llamada "No aplicable" para no comprometer la puntuación final de los requisitos bajo revisión.

La Figura 7 muestra el criterio final para aprobar la capa de necesidades de los requisitos, desde el más básico y prioritario hasta el siguiente. El criterio de aprobación se cumple cuando la puntuación porcentual alcanza el valor del 100 %. Si bien no se alcanza este valor, no se ha cumplido la capa de requisitos en revisión en algún requisito que necesita mejoras en su desarrollo, iniciando un nuevo bucle de proyecto en el proveedor y aplicando el procedimiento de evaluación por parte del solicitante al recibir el nuevo proyecto virtual. El proyecto virtual se considera aprobado cuando todas las capas han alcanzado el % de puntuación en el valor del 100 %.

Figura 7.

Criterios de aprobación en la jerarquía de requisitos para la aprobación de proyectos virtuales de dispositivos de manufactura



Nota: Elaborado por el autor a partir de Gonçalves y Salonitis (2017)

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo propones una lista de requisitos para el análisis cualitativo para complementar la aprobación del diseño virtual de dispositivos de manufactura que contribuya a la identificación de fallas y oportunidades de mejora a bajo costo, el que se considera alcanzado satisfactoriamente. A través de una investigación exploratoria de enfoque cualitativo y conceptual y de acuerdo con las lecciones aprendidas en el despliegue de dispositivos de una empresa en el interior de São Paulo, fue posible generar una lista de requisitos de experiencia práctica como táctica para planificar la calidad del proyecto para anticipar problemas y así buscar reducir riesgos y costos en la ejecución e implementación de nuevos proyectos y dispositivos de fabricación. Como direccionadores para alcanzar la propuesta de este trabajo se observaron principalmente aspectos ya habían generado retrabajo en proyectos de dispositivos implementados en el pasado. Al utilizar la analogía de la jerarquía de necesidades de Maslow en la prioridad de los dispositivos de fabricación, fue posible resaltar al usuario dónde la atención debe centrarse en el ciclo de evaluación inicial, lo que genera esfuerzos reducidos y orientación de la atención para lo que realmente importa en cada momento de la secuencia de evaluación, no sólo los requisitos y necesidades enumerados sin una táctica de uso secuencial. El estudio desarrollado hasta el momento permite abrir nuevas posibilidades de despliegue, entre las que se encuentra la posibilidad de asociarse con empresas para aplicar la herramienta propuesta en este trabajo, pero ya en un enfoque cuantitativo para medir el efecto de su aplicación sobre la cantidad de retrabajo reducido vs. costo de horas que se gastarían en el modelo actual de la empresa en cuestión, en un sentido de validación y mejora continua de la propuesta desarrollada hasta el momento. Vale destacar que la propuesta aquí hecha es de cuño cualitativo, no obstante, sirve como guía general que puede ser adaptada y aplicada en otros modelos de productos, aun pudiendo ser mejorada.

Referencias Bibliográficas

Alexopoulos K.; Mavrikios D.; Chryssolouris G. 2013. ErgoToolkit: an ergonomic analysis tool in a virtual manufacturing environment. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 26 (5): 440-452.

Association of Business Process Management Professionals [ABPMP]. 2013. BPM CBOK: Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio. 1ed. Brasília, DF, Brasil.

Berg, L.P; Vance, J.M. 2016. Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. Virtual Reality 21 (1): 1–17.

Caetano, G. 2001. Custos da Qualidade. Administração em Diálogo 3: 1-20

Confederação Nacional da Indústria [CNI]. 2020. Desempenho da indústria no mundo. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/desempenho-da-industria-no-mundo>. Acesso em: 04 abr. 2021.

Di Zhang; Haas, C.; Goodrum, P.; Caldas, C.; Granger, R. 2012. Construction Small-Projects Rework Reduction for Capital Facilities. Journal of Construction Engineering and Management. Dez: 1377-1385.

Gonçalves, M.T.; Salonitis, K. 2017. Lean assessment tool for workstation design of assembly lines. Procedia CIRP 60: 386 – 391.

Goodson, R. E. 2002. Read a Plant-Fast. Harvard Business Review Mai.: 105-113.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. 2021. Produto Interno Bruto – PIB. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 02 abr. 2021.

Kobayashi, I. 1994. 20 keys to workplace improvement. 1ed. Productivity Press. Cambridge, U.K.

Maslow, A. 1943. A theory of human motivation. Psychological Review 50 (4): 370-396.

Pagano, J. 2009. Transformação de processos produtivos convencionais em processos enxutos: caso da linha de montagem de transmissões. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93338>. Acesso em: 22 abr. 2021.

Projetechrs Automação Industrial. 2021. Cases Projetechrs. Disponível em: < https://projetechrs.com.br/cases/dispositivos-de-montagem-e-solda.html >. Acesso em: 03 abr. 2021.

Strategos Inc. 2006. Assessment for Lean Manufacturing. Disponível em: <http://www.strategosinc.com/assessment.htm> Acesso em 04 abril 2021.

Suzaki, K. 1993. The new shop floor management: empowering people for continuous improvement. 1ed. The Free Press, New York, NY, USA.

Thiollent, M. 2005. Metodologia da Pesquisa-ação. 14ed. Editora Cortez, São Paulo, SP, Brasil.

Tolio T.; Sacco M.; Terkaj W.; Urgo M. 2013. Virtual Factory: an Integrated Framework for Manufacturing SystemsDesign and Analysis. In: Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2013, Setubal, Portugal. P. 25-30.

Womack, J.; Jones, D. 2004. A mentalidade enxuta nas empresas (Lean Thinking). 8ed. Editora Campos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.