

# DIAGRAMAS DE FLUJO Y FUNCIONAL EN EL ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA 4.0 CENTRADO EN UNA CELDA DE MANUFACTURA PARA UN CASO DE ESTUDIO.

Dr. Jesús Vicente González Sosa , email: [jvgs@azc.uam.mx](mailto:jvgs@azc.uam.mx), Dr. José Ángel Hernández Rodríguez , email: [hrja@azc.uam.mx](mailto:hrja@azc.uam.mx), Dra. Yadira Zavala Osorio, email: [zyo@azc.uam.mx](mailto:zyo@azc.uam.mx)  
 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco,

**Resumen - La Industria 4.0 tiene una aplicación tangible con cada una de las etapas que lo componen, por ello la importancia en su análisis y desarrollo vanguardista en la industria; por otro lado, la importancia de una célula de manufactura y el entorno de trabajo ofrecen una perspectiva diferente, ya sea por su factibilidad de análisis o por su aplicación. En la actualidad las mejoras dentro de la ingeniería se han forjado a través de herramientas metodológicas, es por eso, que en este caso de estudio se busca reflejar resultados obtenidos a través de un proceso sistemático. En este trabajo se describen diagramas ingenieriles para fortalecer su aplicación en la industria por medio de una célula de manufactura, analizando y comparando los procesos involucrados en ella, obteniendo mejoras sustanciales a la producción, utilizando el prototipaje como caso de estudio. Por último, cabe resaltar que día a día las herramientas de análisis y ejecución van creciendo a corto y largo plazo, obteniendo líneas de desarrollo e investigación enfocadas al análisis de Industria 4.0 para aprovechar el potencial de esta herramienta y validar su implementación, en la ingeniería y posteriormente en otras áreas temáticas de la industria. Palabras clave: célula de manufactura, industria 4.0, manufactura aditiva, prototipo 3D, sistema funcional.**

## I. INTRODUCCION

El análisis desarrollado en este trabajo permite formular nuevas alternativas dentro de la célula de manufactura para fortalecer el entorno de aplicación de la Industria 4.0 por medio de la sinergia existente en cada uno de los procesos involucrados. Además, los sectores industriales cada día aumentan el interés por la mejora continua en procesos, desarrollo e investigación, dado que en la actualidad la innovación tiene grandes expectativas frente al crecimiento a nivel mundial, que mantiene latente los diferentes métodos de análisis, todo ello como respuesta a desarrollos industriales, con las condiciones de operación masiva como lo discute Sackey y Bester [1].

Se utiliza el método del análisis documental en la revisión de la literatura sobre el tema tanto a nivel internacional como nacional tratándose la importancia de los procesos informativos-comunicacionales, la calidad de la información y la estructura de los flujos que tienen lugar entre las diferentes dependencias y su gestión adecuada para el éxito

organizacional. Se destaca la utilidad de los flujogramas para la representación de la información y de los canales de comunicación de acuerdo con Quindemil [2], lo cual da pauta

al uso de estas herramientas con enfoques industriales, por otro lado, el análisis como un desarrollo con enfoque didáctico en la ingeniería se basa en modelos generales para sistemas de producción y validación experimental de la manufactura aditiva como elemento en la aplicación de la Industria 4.0, concordando con Sackey [3], [8].

Por lo cual, en este trabajo se muestra una tendencia hacia la estructuración sistémica mediante la aplicación de la Industria 4.0 con enfoques de investigación aplicada en células de manufactura, justificando con algoritmos básicos (diagramas de flujo) de la ingeniería, aplicados en procesos, utilizando métodos cualitativos en la Industria 4.0.

Por último, para el desarrollo de este trabajo se lleva a cabo un análisis cualitativo por medio de algoritmos y diagramas funcionales en la Industria 4.0 y célula de manufactura, se obtiene un subanálisis para representar los resultados del trabajo con enfoques ingenieriles, con lo cual se tienen áreas de oportunidad para mejorar las condiciones dinámicas en función de la relación lineal y retroalimentada con la finalidad de mejorar los parámetros dependientes e independientes del tiempo que generan la sinergia en cada etapa de los procesos mencionados se identifica la función predominante para la aplicación industrial con base a los algoritmos y los diagramas funcionales.

A partir del análisis expuesto en este trabajo se determinan las etapas básicas de cada uno de los procesos en el caso de estudio, mostrando las posibles combinaciones de solución con avances paulatinos para mantener la mejora continua.

II. MÉTODO

En esta sección se identifican cada uno de los elementos a utilizar para el análisis cualitativo en un caso práctico. En primer lugar se describe de manera gráfica la Industria 4.0 y una célula de manufactura, figura 1.

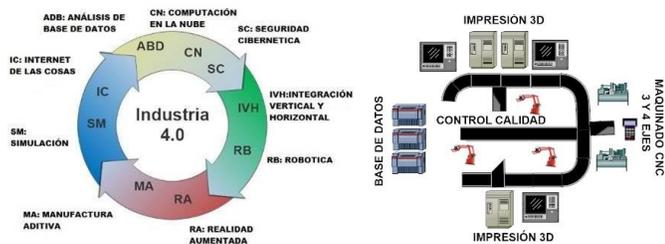


Fig.1. Estructura de la Industria 4.0 y célula de manufactura

La figura 1 muestra los dos casos a analizar, Industria 4.0 y célula de manufactura, en la figura se logra identificar cada una de las etapas que conforman a cada sistema, permitiendo obtener parámetros en el análisis correspondiente con criterios para el desarrollo con algoritmos y diagramas funcionales. Por otro lado, de acuerdo a los estudios y evaluaciones de McKinsey es necesario implementar nuevas metodologías de aprendizaje, ya que aproximadamente el 40% de empleados muestran deficiencias en habilidades para desarrollar sus actividades de trabajo [4].

Se considera adecuado involucrar en la curricula de profesionistas los elementos básicos de la Industria 4.0 como lo son las fabricas inteligentes, gestión de energía, seguridad de datos, tráfico de internet para lograr identificarse de manera directa con la industria [5], bajo estas premisas se plantea este trabajo contemplando, que se trata de una herramienta más a trabajar por parte de los profesionistas en la ingeniería.

A. Análisis de diagramas de flujo

Los modelos para relacionar los aspectos anteriores se enfocan en los algoritmos por medio de diagramas de flujo, los cuales se muestran a continuación y éstos nos permiten ejercer el análisis establecido para este trabajo.

Con respecto a la célula de manufactura el algoritmo a trabajar es el que muestra en la figura 2, diagrama de flujo del proceso durante un ciclo como parte de la Industria 4.0.

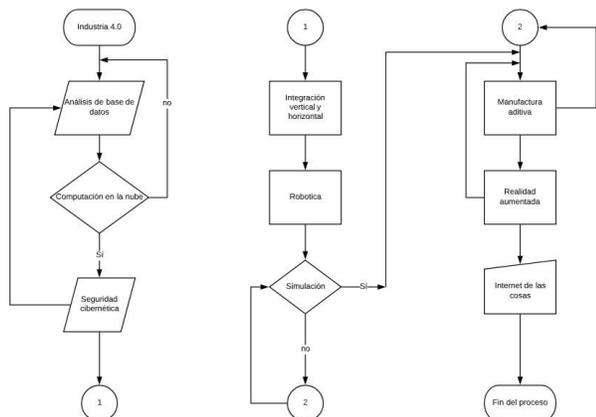


Fig. 2. Diagrama de flujo de la célula de manufactura. Elaboración propia.

En el diagrama de flujo para la célula de manufactura se observa la no linealidad del proceso, ya que la Industria 4.0 se relaciona de manera directa a cada una de las etapas. Es importante mencionar la seguridad cibernética como un parámetro que retroalimenta al sistema, vislumbrando una área de oportunidad para el análisis de estas características con los diagramas de flujo.

B. Análisis funcional de la célula de manufactura e Industria 4.0

En primera instancia, se puede adelantar una clasificación funcional de las categorías formales de la teoría científica, con base en el tipo de contenidos funcionales que representan para el científico, se clasifica en: 1) categorías taxonómicas, 2) categorías operacionales, 3) categorías de medida, y 4) categorías representacionales [6]. El análisis funcional percibe de manera gráfica la forma de relacionar las etapas de un proceso, en donde se da pauta a nuevos desarrollos basados en vínculos y sinergia de las secciones involucradas en un proceso, ofrece un sin fin de alternativas para la aplicación de los casos, sin embargo, es importante conocer el proceso de análisis para aplicar de manera concreta y exitosa los diagramas funcionales con las relaciones de cada etapa y así la efectividad en su desarrollo se incrementa. Además, el análisis funcional que se aplica esta enfocado en los procesos o metodologías de diseño, en donde la función del producto, procesos o sistema es la parte esencial de su aplicación.

A continuación, se representa la Industria 4.0 en forma de diagrama funcional, para identificar las líneas o áreas de oportunidad en el análisis.

Industria 4.0

En primer lugar se define el proceso de Industria 4.0 con los elementos que lo conforman y se realiza el diagrama funcional que se muestra en la figura 4, la cual tiene la finalidad de describir el proceso de manera secuencial, en este caso se toma como parte inicial el proceso de análisis y bases de datos como parámetro fundamental.

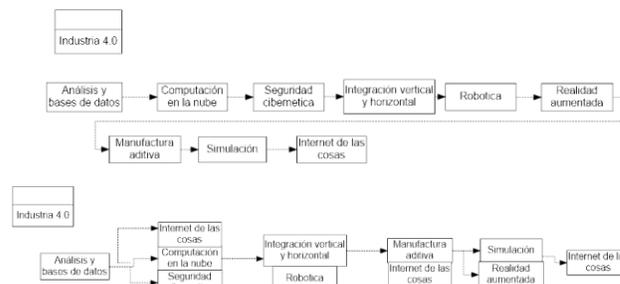


Fig. 4. Diagramas funcionales. Elaboración propia

En este diagrama se puede observar que se han fusionado varias etapas y ello es debido a la importancia de cada una, lo que permite enriquecer el desarrollo y aplicación de la estructura en la Industria 4.0 y no solo observarlo como un método de mejora, sino como una herramienta dentro del sistema en la ingeniería. Por ejemplo, el internet de las cosas se ha plasmado en tres secciones y ello es debido a la

importancia para compartirse en otras etapas y mejorar los resultados en cada uno de los procesos.

### C. Caso de estudio.

Como parte del análisis de la célula de manufactura e Industria 4.0 a través de algoritmos y diagramas funcionales se tiene el prototipado de losetas en forma de rompecabezas, para lo cual se hace uso del proceso tradicional de prototipo y por otro lado, utilizando impresión 3D como parte de una célula de manufactura.

Se presenta el caso de la elaboración de una loseta por medio de prototipaje 3D, con el propósito de fundamentar el análisis cualitativo de los procesos de ingeniería con la aplicación en la industria e investigación, lo cual consiste en desarrollar el procedimiento en función de la metodología que involucre a la Industria 4.0 en conjunto con una célula de manufactura, en donde se evaluará el producto desde el diseño hasta la obtención de este mismo, comparando este proceso con el tradicional, obteniendo las tendencias del análisis propuesto en este trabajo.

#### Tradicional:

El método tradicional se describe de acuerdo a tres etapas

*Etapas 1:* Lluvia de ideas y propuestas de trabajo.

*Etapas 2:* Modelos de CAD y planos

*Etapas 3:* Fabricación

Para el procedimiento aplicando la Industria 4.0, se tiene lo siguiente:

#### Industria 4.0-Célula de Manufactura:

*Etapas 1:* Conceptualización de idea, propuesta inicial, diseño de CAD, ajustes y tolerancias, impresión 3D y validación

*Etapas 2:* Base de datos de usuario, validación, evaluación.

*Etapas 3:* Maquinado y producto final.

De lo anterior se puede observar la cantidad de pasos para cada proceso, analizando el caso de estudio.

Partiendo de un proceso tradicional se tiene el siguiente diagrama, el cual muestra la obtención de la loseta en prototipo, con el método tradicional en ingeniería.

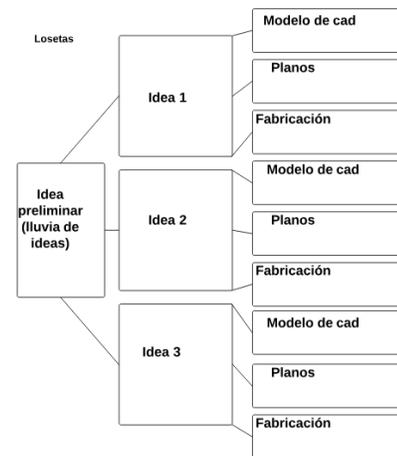


Fig. 5 Diagramas en la fabricación de un prototipo de losetas. Elaboración propia

Se logrará identificar una secuencia repetitiva de pasos para la obtención de la loseta, en donde se tiene una secuencia para definir el producto final, como por ejemplo, no se puede fabricar si aún no se tienen los planos, cuya actividad cambia cuando se tiene una célula de manufactura inmersa en la Industria 4.0.

Por otro lado, la percepción de lluvia de ideas es un paso que no considera el prototipaje en 3D [7], además, en el método tradicional se plantean prototipos fabricados de cualquier material y ello complica la conceptualización del producto final.

En la figura 6 se muestra el algoritmo del caso de estudio, losetas, en donde se observa la aplicación de las etapas involucradas en una célula de manufactura y propiamente la Industria 4.0, haciendo incapie en los procesos de prototipado y maquinado en CNC, y sobre todo la parte de experimentación como etapa de evaluación en un producto o servicio que se puede analizar con estas herramientas.

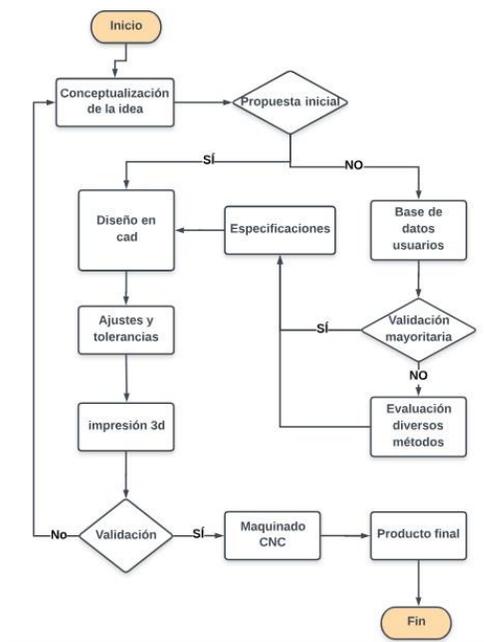


Fig. 6 Diagrama de flujo del caso de aplicación, losetas. Elaboración propia

El diagrama obtenido para el caso de estudio se relaciona con cada una de las etapas para la elaboración de un prototipo funcional de losetas, complementándose con el prototipado 3D, CNC, bases de datos, validación, evaluación, logrando, realizar actividades en conjunto para culminar un proceso en la elaboración de un producto por medio de un algoritmo de estas características.

En la figura 7 se representa el procedimiento por medio de un diagrama funcional, para identificar cada uno de los pasos del caso de estudio involucrado en la Industria 4.0 y la célula de manufactura.

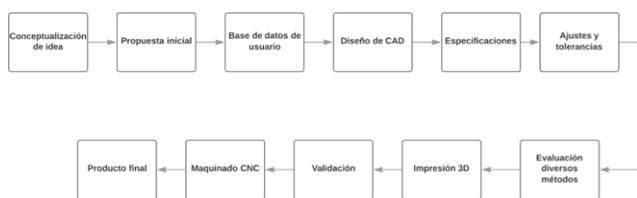


Fig. 7 Diagrama funcional del caso de aplicación, losetas. Elaboración propia

La figura 7 muestra el diagrama principal para la elaboración de una loseta, la figura 8, representa el diagrama final del proceso funcional que permite englobar el caso de estudio para identificar la sinergia de las etapas del proceso en la obtención de la loseta.

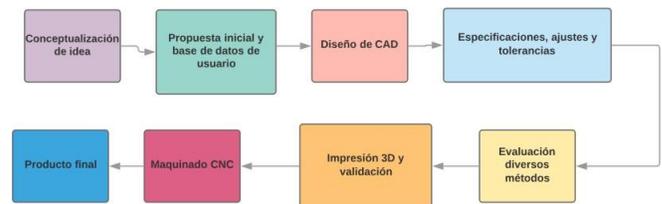


Fig. 8 Diagrama funcional del caso de aplicación, losetas. Elaboración propia.

Este diagrama muestra la sinergia existente en el proceso para la obtención de las losetas, de 11 etapas se logran reducir a 8 en donde la homogeneidad de las etapas forma parte de su aplicación subsecuente.

### III. RESULTADOS

En esta sección se muestra la información con el análisis de la Industria 4.0 en función de una célula de manufactura, cuyo proceso se realiza por medio de algoritmos con diagramas de flujo y análisis funcional.

Los diagramas realizados son herramientas que abordan la temática desde una perspectiva cíclica y activa que permite generar retroalimentaciones constantes para formular opciones de procesamiento y su correspondiente evaluación durante la aplicación en el caso descrito; en la célula de manufactura e Industria 4.0, los resultados se plasman de acuerdo a lo que se logro obtener comparando una metodología tradicional en la obtención de un producto y la metodología a través de algoritmos de diagramas de flujo y diagramas funcionales.

En el proceso de mejora y el análisis de los diagramas se tienen funciones lineales dentro del caso de estudio que se traducen a situaciones dinámicas al implementar la metodología con la Industria 4.0, en la metodología tradicional se tiene como primera etapa fundamental la lluvia de ideas, la cual generalmente realiza el ingeniero de diseño y posteriormente se hace llegar a un revisor para dar visto bueno y realizar el modelo de cad, los planos y por último la fabricación, pero con la propuesta de este trabajo las etapas involucradas son llevadas a cabo por todo los integrantes del equipo de trabajo y siempre se mantiene latente la innovación, retroalimentación y la forma de ejecutar las actividades de forma multidisciplinaria, logrando resultados en menor tiempo de ejecución.

En la siguiente tabla se tiene los tiempos con los cuales se obtuvieron las piezas como parte de prototipos de acuerdo a la metodología aplicada.

TABLA 1. TIEMPOS DE APLICACIÓN EN PROCESO TRADICIONAL Y PROPUESTO

Etapas	Tiempo	
	Tradicional	Industria 4.0 - Célula de Manufactura
1	4 semanas	3 semanas
2	2 semanas	2 semanas
3	3 semanas	1 semana

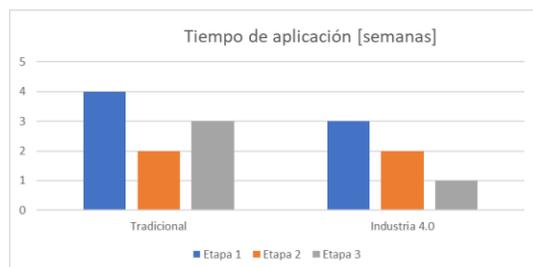


Fig. 9. Gráfico comparando el tiempo de aplicación

En la figura 9 se enfatiza de forma gráfica la comparativa de los tiempos de aplicación de cada una de las metodologías de análisis, tradicional e Industria 4.0-célula de manufactura, determinando que la etapa 1 y 3 forman parte esencial del proceso en ambas metodologías con la diferencia de que la Industria 4.0 disminuye el tiempo en la etapa fundamental del procedimiento contabilizando 6 semanas de trabajo para la fabricación de los prototipos de la loseta, etapa 1, al igual que disminuye la etapa de producción, mientras que el método tradicional contempla 9 semanas de trabajo.

Parte importante del trabajo expuesto es comunicar e involucrar al grupo de trabajo para llevar a cabo todas y cada una de las etapas en el análisis por medio de Industria 4.0 y célula de manufactura, ya que el proceso tradicional es individual y no se puede realizar una etapa sin culminar la anterior y la propuesta logra fusionar diversas etapas del proceso con lo cual se identifican los ahorros de tiempo.

Como parte de los resultados se han logrado identificar las áreas de oportunidad para mejorar los procesos, lo cual se realiza por medio de un análisis de algoritmos de diagrama de flujo y diagrama funcional, inmersos en los métodos de análisis ingenieril con las nuevas tecnologías y metodologías de aprovechamiento.

En los siguientes párrafos se plasman de manera general las conclusiones que se deben a este trabajo con visperas a seguir elaborando nuevos métodos de análisis tanto cualitativos como cuantitativos y su vínculo interno para la mejora continua en los aspectos de desarrollo disciplinario y multidisciplinario, en diferentes áreas de la ciencia e ingeniería.

#### IV. CONCLUSIONES

Es indudable que el análisis mediante diagramas forman parte esencial de investigación y el análisis funcional permite traducir los aspectos intangibles en tangibles para una mayor comprensión de las temáticas que ofrecen panoramas nuevos con tendencias positivas para su aplicación en las diferentes áreas de desarrollo.

Dentro de lo que es la aplicación e implementación de la ingeniería, los diagramas funcionales son parámetros de mejora en la Industria 4.0 y en la célula de manufactura, todo dependerá de la aplicación consistente que se pueda evaluar a través de estas herramientas y conformar la estructura básica para su mayor aprovechamiento en este tipo de análisis.

Como parte del desarrollo de este trabajo se considera que el uso de los dos procesos, Industria 4.0, célula de manufactura, están íntegramente vinculados, a tal grado que entre ellos se identifican etapas con similitudes para obtener los resultados en cada uno de estos procesos. La relación que se genera entre los procesos de acuerdo al análisis generado, es razonable para considerar un análisis cuantificable con perspectivas de mejora a corto y largo plazo.

En la descripción de los procesos se identifican situaciones con similitudes que permiten realizar un análisis de las etapas que se logran retroalimentar para modificar y controlar el proceso, logrando asimismo adentrarse a temáticas que siempre serán discutibles al momento de aplicar la Industria 4.0.

Por otro lado, los diagramas funcionales permiten reafirmar las etapas de retroalimentación que, de acuerdo al proceso cambia en cierta medida con el análisis de los diagramas de flujo, sin embargo, son los que se apegan de manera sustancial a la realidad por el enfoque que se tiene al momento de realizarlo.

Hasta el momento se ha logrado identificar que el análisis de procesos tiene diversas áreas de oportunidad en donde poco a poco las proyecciones cualitativas tendrán un sustento funcional, este trabajo es una muestra de análisis con esas características, configurando así mismo nuevas tendencias en la Industria 4.0, la cual no dejara de ser un método de mejora en la industria que permite ser. Además, se trabaja con una célula de manufactura la cual es un caso de aplicación inmerso en la Industria 4.0 que ofrece parámetros medibles para lograr un análisis con vinculado en otros procesos.

Por ultimo, es rescatable mencionar que se obtuvo un 33% de reducción en tiempos para la producción de una loseta por medio de prototipaje 3D, estableciendo como trabajo a futuro la mejora continua de metodologías con la Industria 4.0.

## REFERENCIAS

- [1] Sackey, S. M. & Bester. A. 2016. Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a South African context, South African Journal of Industrial Engineering, 27(4), pp 101-114.
- [2] Quindemil E., Rumbault F. (2014) The information and communication in organizational management: callenges from the university context. La información y la comunicación en la gestión organizacional. Paginas 54-67, Año 10. No. 10, 2014. Bibliotecas anuales de investigación.
- [3] Sackey, S. M. & Bester. A, 2017. Industry 4.0 learning Factory didactic design parameters for industrial engineering education in south Africa. South African Journal of Industrial Engineering, 28 (1), pp 114-124
- [4] McKinsey Global Institute website. 2016. [Online] Available: <http://www.mckinsey.com/global-themes/employment-and-growth/technology-jobs-and-the-future-of-work>.
- [5] Durmus A, Dagli Abdulkandir, (2017). Integration of Vocational Schools to Industry 4.0 by Updating Curriculum and Programs, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, volumen 1. Number:1, Pages: 1-3.
- [6] Ribes e, Moreno R, Padilla A. (1996). Un análisis funcional de la práctica científica: extensiones de un modelo psicológico. Acta Comportamental, Vol. 4, Núm. 2, pp 205-235.
- [7] Hopkinson N., Hague R.J.M., Dickens. P.M. (2006). Rapid Manufacturing - An Industrial revolution for the digital age, Publisher- John Wiley and Sons Ltd UK. ISBN: 978-0-470-01613-8.
- [8] Gibson, Rosen and Stucker. (2010). Additive Manufacturing Technologies: Rapid prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer.
- [9] Book · January 2010 with 954 Reads, DOI 10.1007/978-1-4419-1120-9, ISBN 978 1 4419 1119 3, Publisher: Springer
- [10] Wohlers Report 2012. (2012). Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates. ISBN 978-0-9913332-4-0
- [11] [10] Fogliatto, Flavio. (2010). Mass Customization: Engineering and Managing Global Operations. Springer. DOI 10.1007/978-1-84996-489-0
- [12] Kondor S, Grant G, Liacouras P, Schmid JR, Parsons M, Rastogi VK, et al. On demand additive manufacturing of a basic surgical kit. J Med Device. 2013;7:030916–30921. <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1719-y>.
- [13] Maldonado A, Guillen L, Barrón L, García J. Evaluación económica para la selección de tecnología de manufactura avanzada: una propuesta de software. Revista de Ingeniería Industrial, 2011. ISSN 1940-2163.