

2015-06-01

Sistema de producción Toyota usando cibernética de tercer orden

Wilson Alexander Pinzón Rueda

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, wapinzon@udistrital.edu.co

Carlos Andrés Arango Londoño

Universidad de La Salle, Bogotá, cararango@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep>

Citación recomendada

Pinzón Rueda, Wilson Alexander and Arango Londoño, Carlos Andrés (2015) "Sistema de producción Toyota usando cibernética de tercer orden," *Épsilon*: Iss. 24 , Article 8.

Disponible en:

This Artículos de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas descontinuadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Épsilon by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Sistema de producción Toyota usando cibernética de tercer orden

WILSON ALEXÁNDER PINZÓN RUEDA¹

CARLOS ANDRÉS ARANGO LONDOÑO²

RESUMEN

El Sistema de Gestión Industrial Toyota (TPS) ha sido ampliamente difundido por su relativo éxito en algunos contextos. Empresas de un amplio rango, como de alimentos, metalmecánicas e industriales, han intentando implementar el TPS; sin embargo, en la revisión literaria no se identifican las condiciones requeridas para obtener un resultado sostenido o consistente en su uso. Este artículo intenta presentar la relación de diferentes elementos, como el *poka yoke* y el *justo a tiempo*, con el TPS, y para ello se parte del supuesto del mercado perfecto como una condición necesaria de dicho modelo. Para este análisis se utiliza la cibernética de tercer orden.

Palabras clave: Sistema de Gestión Industrial Toyota, cibernética, administración de operaciones.

¹ Magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Ingeniero industrial por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Actualmente se desempeña como docente en el proyecto curricular de Ingeniería de Producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: wapinzon@udistrital.edu.co

² Magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. Actualmente se desempeña como docente en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: cararango@unisalle.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 1 DE MARZO DEL 2014 • FECHA DE APROBACIÓN: 9 DE OCTUBRE DEL 2014

Cómo citar este artículo: Pinzón Rueda, W. A. y Arango Londoño, C. A. (2015). Sistema de producción Toyota usando cibernética de tercer orden. *Épsilon*, 24, 175-195.

ABSTRACT

The Toyota Production System (TPS) has been widely spread, due to its relative success in some contexts. Companies from a wide range, such as food, metalworking and industrial companies, have tried to implement the TPS; however, in reviewing the literature on the subject, the conditions for a sustained and consistent result during use are not identified. This article aims to present the relationship of different elements, such as *poka yoke* and *justo a tiempo*, with the TPS, and for that purpose we start from the idea of the perfect market as a necessary condition of the model. For this analysis, third order cybernetics are used.

Keywords: Toyota Production System, cybernetics, operations management.

Sistema de produção Toyota usando cibernética de terceira ordem

RESUMO

O Sistema de Gestão Industrial Toyota (TPS) tem se difundido ampliamante, por seu relativo sucesso em alguns contextos. Empresas de um amplo rango, como de alimentos, metalmecânicas e industriais, têm tentado implementar o TPS; no entanto, na revisão da literatura sobre o tema não se identificam as condições requeridas para obter um resultado sustentado ou consistente em seu uso. Este artigo tenta apresentar a relação de diferentes elementos, como o *poka yoke* e o *justo a tempo*, com o TPS, e para isso se parte da suposição do mercado perfeito como uma condição necessária deste modelo. Para esta análise se utiliza a cibernética de terceira ordem.

Palavras chave: Sistema de Gestão Industrial Toyota, cibernética, administração de operações.

Introducción

El Sistema de Gestión Industrial Toyota (TPS, por sus siglas en inglés) propuso unas prácticas específicas de operación en respuesta a las circunstancias que rodeaban a la empresa en su origen. Este modelo ha llevado a Toyota a tener un alto desempeño como productor. Las prácticas diferenciadas del sistema (tarjetas *kanban*, círculos de calidad, sistemas *poka yoke*, etc.) han sido introducidas por muchas empresas; sin embargo, aun con el uso de estas técnicas, son pocas las empresas que han sido capaces de sostener un alto desempeño industrial como el conseguido por Toyota. Ello quizás se deba a que es común confundir estas prácticas con el TPS mismo.

Este artículo es una propuesta para la identificación y articulación de los diferentes elementos del TPS y de su contexto; para ello se usa la cibernética de tercer orden, derivada de la cibernética del primer y segundo orden. La propuesta radica en la articulación de los diversos elementos a partir de los supuestos de TPS; es decir, a diferencia de metodologías centradas en aspectos meramente técnicos de las propiedades de flujo de materiales a través del sistema, la cibernética de tercer orden usa las propiedades de la ciencia de la comunicación, la información y el control. En este caso, se aborda el supuesto de la competencia perfecta, el cual modifica los elementos y su articulación con el TPS.

Para ello, primero se abordan las bases del TPS y de la cibernética; luego se presenta un marco de referencia que vincula los elementos de la cibernética de primer y segundo orden por la descripción de los componentes de los ciclos de realimentación de primer y segundo orden; después se identifica el concepto de cibernética de tercer orden con los de orden primero y segundo; finalmente se identifican los elementos del TPS usando circuitos de cibernética de tercer orden.

Marco de referencia

Los modelos de cibernética de tercer orden se usan para describir el TPS, que es uno de los sistemas de gestión industrial posibles de usarse. Los modelos de tercer orden son propuestos a partir de la descripción hecha por Ashby (1957) y Beer (1964) y son usados en la administración de organizaciones industriales.

También se emplea la descripción de los elementos constitutivos de un modelo de cibernética de tercer orden propuestos en diversos estudios de integración de sistemas, como el de Nova (2011).

Sistema de Gestión Industrial Toyota (TPS)

Toyota ha diseñado y fabricado carros desde 1937 (Ohno, 1988). Después de la Segunda Guerra Mundial, los niveles de productividad en Japón eran muy bajos (Jorgenson, 1987), y por ello Toyota cambió allí radicalmente su gestión industrial para disminuir los costos de producción. Esta respuesta se conoce como Sistema Producción Toyota (Lander, 2007), denominado aquí Sistema de Gestión Industrial Toyota (TPS).

Se identifican múltiples puntos de vista en la descripción del TPS, ya que al hablar del mismo objeto pareciesen sinónimos; sin embargo, la hipótesis de ser objetos separados del mismo sistema es la que se presume aquí. En otras palabras, puede abordarse el enfoque de Ohno (1988), centrado en el sistema de control económico contable de la empresa: “Taiichi Ohno helped establish the Toyota Production System, and built the foundation for the Toyota spirit of ‘making things’ by, for example, creating the basic framework for the Just-in-Time method” (Toyota, s. f.). Asimismo titula su libro: *El Sistema de Producción Toyota, más allá del punto de vista de la ingeniería* (Ohno, 1988).

Por su parte, Monden (2012) articula el TPS como un sistema de producción, sin prestar igual énfasis al aspecto contable. Y otra perspectiva es la que asume Shingo (1986): contradice abierta y directamente los principios de la gestión total de la calidad y su control estadístico, y se ocupa de los aspectos más operativos de el TPS. Con lo anterior queda claro que el grueso de los lectores no disponen de un marco o método fácil para comprender las diferentes técnicas asociadas el TPS, aun cuando los textos referidos sean de autoría de los directos involucrados en la gestión del TPS.

La propuesta inicia aquí: se presume que el TPS busca la reducción de costo, y lo hace a través de la eliminación de los desperdicios (Womack, 1996). Desde la economía se ha postulado que una empresa en mercado perfecto solo puede incrementar sus utilidades por la disminución sistemática de sus costos. Ello es así

puesto que una empresa, dentro del entorno de mercado perfecto, no puede definir el precio en el cual vende su producto, por cuanto el precio y la cantidad de los productos vendidos están determinados por la dinámica del mercado; por lo tanto, la reducción de costos es la única fuente para mejorar los ingresos de empresas en entornos de mercado perfecto (Shy, 1996).

Este escrito concibe que el mercado perfecto es el supuesto en el que se desenvuelven el origen y la evolución del TPS, ya que el precio del producto es tomado, es decir, no está definido por el productor. En este sentido, Shy (2001) indica las diferentes situaciones de mercado basado en la desviación de los supuestos asociados al mercado perfecto.

Por ello, en el TPS, el transporte innecesario, por ejemplo, no solamente aumenta los costos por las demoras de los inventarios para salir del sistema, sino que también causa la necesidad de bodegas y de espacios de almacenamiento temporal, así como de elementos especiales para transportar y manejar los materiales. El exceso de transporte esconde por lo general un problema de organización de la coordinación de flujos en la planta o en el sistema, y oculta también la verdadera localización de los cuellos de botella.

Dos técnicas populares del TPS se usan para disminuir los desperdicios. La primera es el *justo a tiempo* (JIT, por sus siglas en inglés), que consiste en producir solo lo que se necesita, analizar realmente cuánto se necesita y solo hacerlo cuando es requerido. Cualquier desviación del proceso de transformación se considera un desperdicio (McLachlin, 1997). La segunda técnica es la conocida como *Jidoka* (construir con calidad), en la que de forma evidente se identifican las diferencias entre lo programado y lo ejecutado de la producción. De hecho, la producción se detiene en el momento en que se identifican los fallos. En un sistema de producción que utiliza la técnica en mención, se presume como desperdicio cualquier desviación del proceso (Morgan y Liker, 2006).

El TPS trabaja sobre dos supuestos tomados como comunes en ambientes productivos: a) las necesidades efectivas se van a desviar de una proyección o plan de producción de forma no predecible, sin importar qué tan meticulosa haya sido la realización de este plan (Kubiak, 1993); b) las diferencias surgirán constantemente en una fábrica, lo que hará que la desviaciones de los planes de producción sean

inevitables. TPS se enfoca en procesos de mejora continua y enfatiza en alertar a las personas, cuando se desvían, de cómo debería realizarse el proceso productivo (Zangwill, 1998).

Para implementar los principios de TPS, se usan varios componentes y criterios, entre los que encontramos el *takt time*, el flujo de producción, los sistemas *pull*, el *kanban* y la nivelación (*heijunka*) (Monden, 2012). Muchas de estas reglas se usan para mantener el flujo de información tan cerca como sea posible del flujo de materiales dentro la planta. Las piezas son inducidas a fluir dentro de la planta, a partir de la información que se tiene del uso actual, en vez de ser presionadas a fluir a través de eslla con base en un programa. Este tipo de flujo requiere que las estaciones finales del proceso tengan la capacidad de mover material con un tiempo mínimo de alistamiento; de ahí que crear flujo en un proceso productivo sea una actividad de planeación en un TPS.

Otro de los componentes del TPS es el recurso humano: las personas fijan y mantienen la operación, resuelven los problemas diarios de la operación, participan en la mejora continua de las empresas y en la organización de los equipos de trabajo de forma eficiente. Para lograr la participación de los diferentes miembros, el TPS se enfoca en el aumento de las competencias de cada uno de los colaboradores, resultado del aprendizaje y uso de las diversas técnicas del modelo en mención (Spear, 1999).

El propósito TPS es la eliminación de cualquier tipo de desperdicio, y ello abarca a todos los elementos en el área de producción, desde el departamento de compras de materias primas, hasta el servicio al cliente, pasando por recursos humanos, finanzas, etc. En esta línea, el JIT se usa para alcanzar reducciones de costos y cumplir con las necesidades de los clientes a los costos más bajos posibles (Sipper, 1998); por ejemplo, con el SMED (*single minute exchange of die*, o cambio de matriz en pocos minutos) se puede hacer el alistamiento de moldes de 20 horas en 10 minutos.

Cibernética

La cibernética es el estudio de los sistemas de regulación. Está vinculada estrechamente a la teoría de control, las comunicaciones y la información. La cibernética estudia modos de comportamiento humano, animal y de máquinas no vivas, para

lo cual se basa en los ciclos de control donde es central la variación en el comportamiento (Ashby, 1957). Para identificar los elementos de control cibernético, se hace una analogía respecto al diagrama de bloques para los sistemas de control trabajados (Beer, 1964), como se muestra en figura 1.

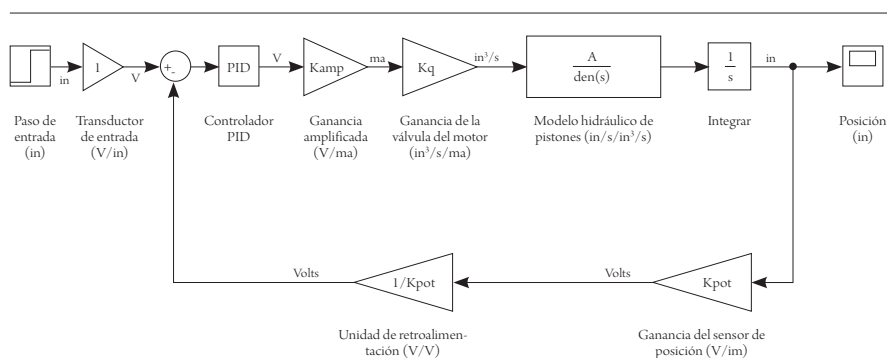


Figura 1. Diagramas de bloques con realimentación

Fuente: <http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/undergraduate-engineers-develop-hydraulic-servo-control-systems-using-model-based-design-with-simulink.html>

En estos bloques se indican los puntos de transformación de información, el aparato transformador (las cajas) y el flujo de materiales o de información (los arcos). Esta notación es ampliamente usada en la teoría del control industrial, como ámbito de uso de los principios de la cibernética (Beer, 1964)

La cibernética de tercer orden consiste en usar los fundamentos de la teoría de control de máquinas y proponer principios basados en el funcionamiento del sistema aplicados a sistemas sociales y biológicos. Lo novedoso de ello es la inclusión del efecto del observador y la coordinación del observador con sus actos y creencias. Adicionalmente, es posible encontrar usos de la cibernética en entornos administrativos (Vidgen, 1998; Skyttner, 2001; Robb, 1984), donde se muestra cómo los principios de ella son lo suficientemente amplios para cubrir diferentes tipos de situaciones propios de este ámbito.

En la cibernética podemos encontrar ciclos de primer, segundo (Heylighen, 2001) y tercer nivel (Nova, 2011). Los primeros hacen referencia al flujo de información y materiales; los segundos, al efecto del observador, lo cual corresponde a los propósitos, las metas, los criterios y los planes de la organización (Maruyama, 1963), y

los de tercer nivel, a los supuestos que rigen el comportamiento de la organización y al efecto de estas creencias y supuestos en la acción.

La cibernética de primer orden se enfoca en los sucesos que, se presume, “suceden” fuera del observador, en lo que este puede denominar como un *sistema* (Wiener, 1961; Ashby, 1957). La innovación consistió en usar la teoría clásica de control y extrapolar sus principios al funcionamiento de, por ejemplo, los sistemas sociales y biológicos.

En la cibernética de segundo orden se identifica el efecto del observador sobre el sistema observado (Pakman, 1996; Yolles, 2006). Se identifica entonces cómo la cibernética se centra en la transmisión del mensaje, en la expectativa del observador, y no en el mensaje. Por su parte, en la cibernética de tercer orden se usan todas las propiedades de la comunicación; la transmisión de mensajes no se considera una cuestión meramente técnica, sino que va orientada por los supuestos de la organización (Nova, 2011).

Descripción de los elementos del circuito de realimentación

En el circuito de realimentación mostrado en la figura 2, un arco dirigido o una flecha representan algún tipo de flujo correspondiente a uno de los factores productivos. Así, una flecha genérica puede apuntar a uno o más de estos tipos de flujo. La línea continua identifica cualquiera de los varios tipos de flujo. La línea punteada se utiliza solo para el flujo de información. Un círculo o una elipse representan un dispositivo de monitoreo o punto para mirar los flujos, proveen información y son comparadores. Tales comparadores pueden contener un amplio número de funciones que permitan describir las relaciones entre flujos.

Además, un recuadro cerrado y en línea continua representa una transformación o el cambio de las entradas en salidas. Entre los cambios o las transformaciones más comunes en sistemas de producción se encuentran el ensamble, la asociación, la agregación, la personalización, etc. (Torres, 1994).

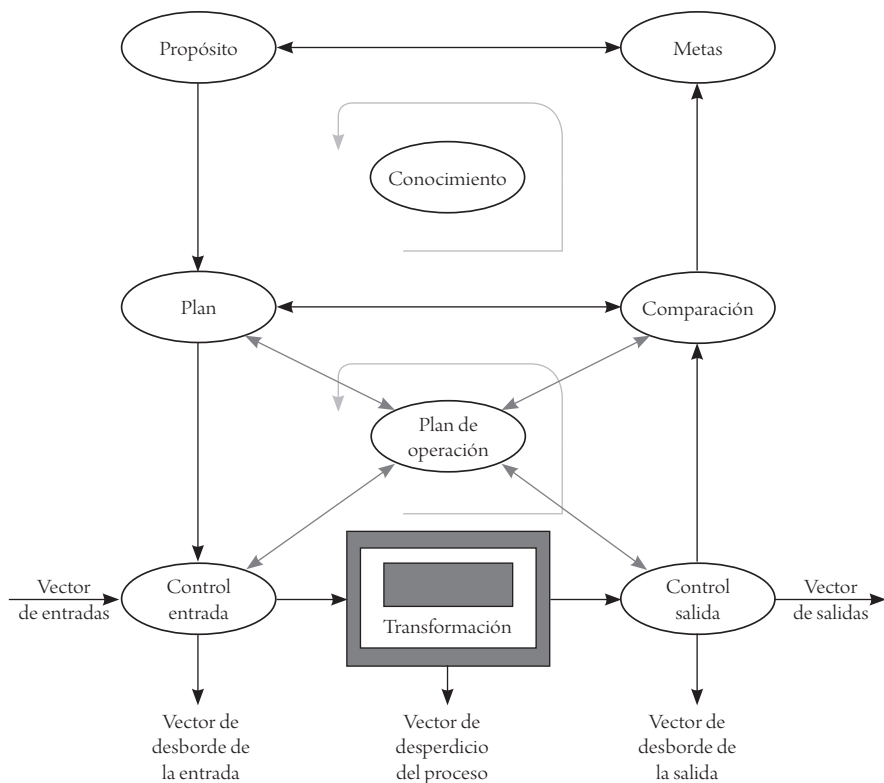


Figura 2. Circuito de realimentación de primer orden

Fuente: Nova (2011).

Elementos del circuito de primer orden

Componentes del modelo de cibernética de primer orden en el primer nivel

Los elementos o las partes de un modelo de cibernética de primer orden en el primer nivel se presentan y se describen en la figura 3.

- *Vector de insumos o entradas:* flecha continua que representa los insumos para la operación del sistema.
- *Nodo o control de entrada:* se elige sobre la capacidad y posibilidad de entrada de los recursos, en función de la información disponible.

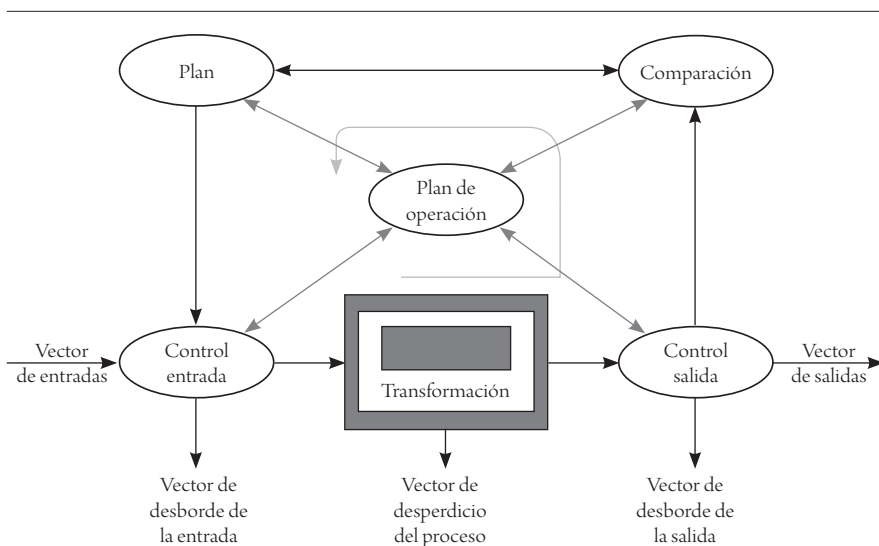


Figura 3. Circuito de realimentación de primer orden en el primer nivel

Fuente: Nova (2011).

- *Vector de paso de entrada*: identifica los recursos que efectivamente ingresan al sistema.
- *Vector de desborde de la entrada*: identifica los recursos que efectivamente no entran al sistema.
- *Función de operación o transformación*: caja gris enfocada en los elementos y procesos que se transforman, se almacenan y permanecen dentro el sistema.
- *Vector de desperdicio del proceso*: identifica todos los tipos de recursos que se pierden en la ejecución del proceso.
- *Nodo de control de salida*: es el decisor que permite la salida al entorno de los factores productivos ya transformados o de los productos finales deseados, así como de los desechos y de la información asociada a estos flujos.
- *Vector de paso de salida*: hace referencia a los productos deseados del proceso.
- *Vector de desborde de la salida*: hace referencia a todos los elementos que se pierden en función del controlador de salida.

- *Vector de salida*: corresponde al flujo de los elementos deseados y entregados de forma efectiva al entorno.
- *Vector de monitoreo*: vector que principalmente lleva información asociada al vector de salida.
- *Nodo de comparación*: nodo que compara la información disponible de la salida con la información disponible del plan de acción.
- *Vector de planeación y comparación*: canal de información, típicamente de doble vía, que transmite hacia el nodo de comparación la información disponible en el nodo de planeación.
- *Nodo del plan*: describe la asociación de recursos requeridos para la operación, compara la información asignada al plan diario de operación y la información obtenida del nodo de control de entrada.
- *Vector de planeación y entrada*: vínculo del nodo del plan con el control de entradas.
- *Nodo del plan de operación*: nodo que dispone de la información necesaria y útil para indicar cómo hacer las transformaciones.

Componentes del modelo de cibernética de primer orden en el segundo nivel

Los elementos o partes las constitutivas de un modelo de cibernética de primer orden en el segundo nivel se presentan y se describen en la figura 4.

- *Nodo de metas*: nodo que desagrega la información asociada al propósito del sistema.
- *Nodo de propósito*: contiene el propósito operante del sistema y se conecta directamente al nodo de metas, al nodo de planeación y al nodo de conocimiento principalmente.

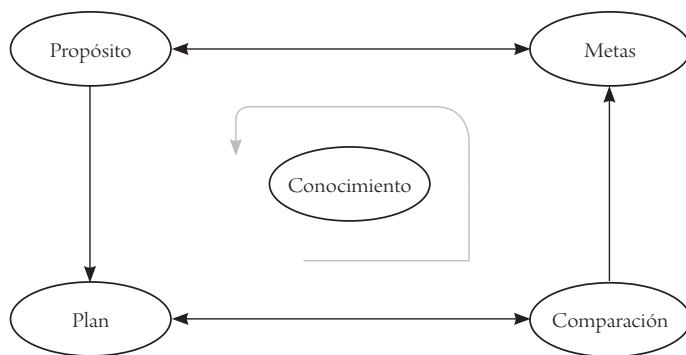


Figura 4. Circuito de realimentación de primer orden en el segundo nivel

Fuente: Nova (2011).

- *Nodo de conocimiento*: describe de forma genérica la información y capacidad actual con el que cuenta el sistema. Se entiende por *capacidad* la habilidad para coordinar las acciones y que los sucesos tengan relación causal con el conocimiento.
- *Arcos conectores*: múltiples arcos se usan para describir el ciclo o los ciclos de realimentación existentes; sin embargo, un arco muy útil y especial es que se da entre el nodo de comparación y el nodo del plan.

Elementos del circuito de realimentación de segundo orden

El ciclo de segundo orden es el control del control. Vincula el ciclo del conocimiento al ciclo de la operación, con lo cual se forma un nuevo circuito. Este ciclo de segundo orden se compone de los siguientes elementos:

- *Ciclo de realimentación de primer orden en el primer nivel*: incluye todos los elementos del piso 1 y del 2. Con este se cumple el principio básico de la cibernética: las entradas están afectadas por la salida.
- *Ciclo de realimentación de primer orden en el segundo nivel o realimentación de la gestión*: este ciclo se comporta como cualquier otro ciclo de realimentación de primer orden; cualquier nodo que se tome como la entrada es afectado por el respectivo nodo considerado como la salida. Los nodos componentes son los propósitos, la meta, el plan y los criterios.

- *Ciclo de realimentación de segundo orden:* corresponde a la cibernética de segundo orden. La cibernética de primer orden identifica el efecto de las salidas en las entradas, en tanto la cibernética de segundo orden identifica el efecto del observador. En esta situación, el observador se define en función de los propósitos, las metas, los planes y el conocimiento que este tiene para ejecutar la labor, así como de los criterios de comparación. Por lo tanto, el circuito de segundo orden incluye parte del circuito de primer orden primer nivel y parte del circuito de primer orden de segundo nivel. La secuencia es esta: nodo de control de entrada, operaciones, transformación, salida; nodo de comparación, de plan, de propósitos, de metas y de plan, y por último se llega al inicio, que es el nodo de control de entradas.

Elementos del circuito de realimentación de tercer orden

La cibernética de tercer orden incluye un nodo: el de los supuestos o las sentencias axiológicas que se presuponen funcionales para la operación del sistema. Este nodo se puede separar en dos componentes: los supuestos declarados y los supuestos usados. Los supuestos declarados indican las señales emitidas al exterior por el sistema; los supuestos usados indican el fundamento de la fijación de características del sistema. De acuerdo con lo anterior, el circuito de primer orden que se incluye es supuestos, propósito, metas y supuestos.

Operación del circuito de primer orden en el TPS

A continuación se hace una descripción de los componentes del modelo de cibernética de primer orden para el TPS. Este modelo usa el supuesto de la existencia de competencia perfecta, y allí el mercado es el intercambio de objetos por créditos monetarios. El mercado perfecto asume cuatro premisas en este intercambio: a) el bien está totalmente definido, es uniforme y no distinguible, b) ningún proveedor solo afecta el precio, c) ningún cliente solo afecta el precio y d) todos disponen de la información de disponibilidad y precio del bien definido.

Según lo anterior, el propósito del TPS sería la minimización de los costos de producción. En términos de los programas lineales de optimización usados en economía y administración industrial, la maximización de la función industrial de la utilidad económica se reduce a obtener la función de mínimo costo. Esto es

así ya que si se cumple el supuesto del mercado perfecto, el productor no define ni la cantidad que habrá de venderse ni el precio específico. Este dato es tan solo tomado por el productor como fruto de los supuestos del mercado.

En el nodo de metas se asume la búsqueda del sistema en función de disminuir cualquier tipo de costos en gastos, máquinas, materiales, infraestructura, mano de obra, métodos, etc. Lo anterior conlleva como consecuencia que se busca la variación en cada uno de los ítems iguales a cero, esto es, el TPS busca no tener variaciones que no puedan acoplarse en el sistema. En el caso de que ocurra alguna diferencia entre el valor esperado y el valor observado, se recurre al plan. En el nodo del plan se tienen cuatro elementos: *poka yoke*, justo a tiempo, despliegue de la función de calidad (QFD) y mantenimiento preventivo. Estos elementos tienen como objetivo corregir cualquier tipo de variación en el sistema, de forma que estas sean igual a cero. Debido a lo anterior, habría *poka yoke* para cada uno de los factores productivos que se tienen en cuenta en la organización.

Los supuestos del TPS hacen que el sistema sea diseñado para no permitir ningún tipo de desperdicio, y si este existe, para contar con la flexibilidad necesaria que permita corregir esta situación. Por esto, encontramos en el vector de entrada SMED la polivalencia y la estandarización. En el TPS se cuenta con procesos a la vez altamente estandarizados y muy flexibles.

Kanban, diseñado como un sistema de gestión de las existencias, se utiliza para marcar los ritmos en el sistema productivo e identificar las especificaciones, sus tolerancias y la clasificación de los diversos elementos que entran al sistema. El TPS utiliza el análisis de valor y la función de pérdida de Taguchi. Finalmente, en el vector de salida se encuentran los productos resultantes del sistema, realizados en las cantidades correctas, de la mejor calidad posible y al menor costo.

Estos resultados son verificados en el nodo de criterios por medio de una contabilidad ABC y un análisis de desperdicios. De encontrarse diferencias entre los resultados del proceso y las metas de cero desperdicios, el sistema realiza los ajustes necesarios por medio del nodo de planeación. Además, se analiza por separado cada uno de los circuitos de realimentación de primer orden en sus respectivos niveles³ (figura 5).

3 Para una descripción mas detallada de los diversos componentes, se recomiendan los trabajos de Ohno (1988), Monden (2012) y Shingo (1990).



Componentes del modelo de cibernética de primer orden en el primer nivel

- ÉPSILON, Nº 24 • ENERO-JUNIO 2015 • PP. 175-195 • ISSN 1692-1259-ISSN-E 2389-8828

- *Nodo o control de entrada*: hace referencia al conjunto de elementos utilizados por los ingenieros para la gestión de la producción, como *poka yoke*, SMED, polivalencia.
- *Vector de paso de entrada*: corresponde a los elementos, los factores y las condiciones seleccionadas para ser usadas en el proceso de control a través del TPS.
- *Vector de desborde de la entrada*: representa el conjunto de elementos, factores y condiciones no deseables o poco eficientes y eficaces; por tanto, son descartadas en el TPS
- *Función de operación o transformación*: está representada por el proceso de transformación que se realiza en el sistema, mediante el cual los empleados realizan sus actividades productivas, pero a la vez generan, almacenan y retienen el conocimiento, con lo cual adquieren mayores capacidades y conocimiento. En este elemento se utilizan herramientas tales como análisis de valor, QFD, función de pérdida, *kanban*.
- *Vector de desperdicio del proceso*: corresponde a las prácticas no incorporadas en el TPS, por no agregar valor al producto.
- *Vector de paso de salida*: corresponde a los elementos del proceso productivo, los cuales serán evaluados por los miembros del equipo para tener en cuenta en su actividad.
- *Nodo de control de salida*: corresponde a los resultados esperados al utilizar el sistema de producción: innovación, variedad, menor costo, mercado global.
- *Vector de desborde de la salida*: corresponde a las partes del proceso que no adquirieron los conocimientos necesarios y requeridos para lograr los objetivos del TPS.
- *Vector de salida*: corresponde a las unidades producidas que finalizaron el proceso con un resultado satisfactorio.
- *Vector de monitoreo*: el vector de monitoreo lleva información del resultado de la actividad productiva en el proceso hacia el nodo de evaluación. Por lo general,

esta información se actualiza de forma constante, dado que es un monitor que aporta información del impacto del sistema en los productos generados.

- *Nodo de comparación:* corresponde a las evaluaciones realizadas para identificar el nivel de cumplimiento del sistema, los cuales reciben la información de los resultados esperados del uso del TPS y la comparan con las metas definidas por el sistema. Los criterios de comparación son el nivel de desperdicios y los costos ABC.
- *Vector de planeación y comparación:* corresponde a una autopista de información entre las estrategias por utilizar y los criterios de evaluación.
- *Nodo del plan:* el nodo corresponde a las estrategias por utilizar; al definir el uso del TPS, se decide utilizar JIT y mantenimiento predictivo para la planeación de la operación.
- *Vector de planeación y entrada:* permite la transmisión de información bidireccional entre el plan de producción y las entradas del sistema.
- *Nodo del plan de operación:* este nodo es administrado por cada uno de los miembros del equipo que se encuentran en el proceso productivo; es utilizado para obtener los mejores resultados del proceso y asegurar el menor nivel de desperdicio posible. Para ello utiliza información de las entradas del proceso, productos obtenidos, cumplimiento de los criterios y sistema de planeación utilizado.

Componentes del modelo de cibernética de primer orden en el segundo nivel

Los elementos o las partes constitutivas de un modelo de cibernética de primer orden en el segundo nivel se presentan y se describen en la figura 6.

- *Propósito:* el TPS busca la reducción de los costos del proceso productivo; para ello, se enfoca en la eliminación de cualquier tipo de desperdicio del sistema. Se entiende por *eliminación del desperdicio* la supresión de todos los factores que no agregan valor al producto o servicio, ya sea en las partes, la mano de obra o el proceso de producción.

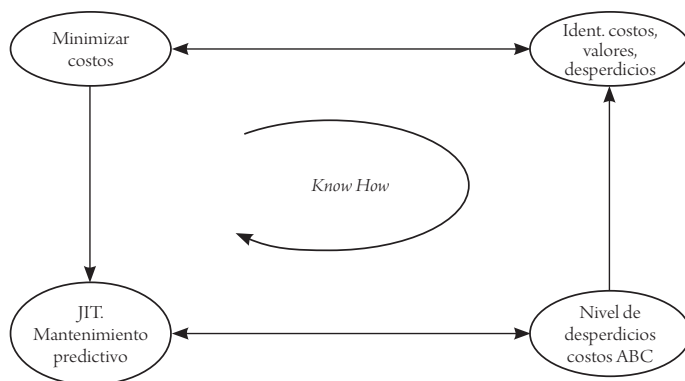


Figura 6. Circuito de cibernética de primer orden en el segundo nivel para el TPS

Fuente: elaboración propia.

- *Meta*: para lograr la eliminación de los desperdicios, el sistema TPS se apoya en la mejora de la calidad, la productividad, la seguridad y la moral de los empleados. Para ello, analiza los objetivos del proceso productivo junto con sus resultados, a fin de identificar los costos, valores y desperdicios del proceso productivo.
- *Ciclo de conocimiento*: describe la capacidad que tienen las personas que diseñaron el sistema productivo para coordinar acciones que les permitan mantener e incrementar el nivel de compromiso hacia el sistema productivo, con lo cual se genera una minimización de los costos en forma continua.
- *Arcos conectores*: los sistemas productivos pueden involucran más arcos conectores entre los diferentes modos y el propósito y el nodo de planeación de operaciones y conocimiento. Ello depende de los diferentes elementos y estrategias de comunicación empleadas para realizar el proceso productivo.

Conclusiones

La ausencia de un sistema que permita la comprensión y relación entre los diferentes elementos del TPS hace que la aplicación de estos sea limitada, por lo cual se logran solo ciertas condiciones en el proceso. La interrelación a través de la utilización circuitos de cibernética permite comprender cómo el TPS logra realizar,

comunicar y encontrar la forma de llevar disciplinadamente un proceso productivo, con creatividad y flexibilidad. El uso efectivo de las distintas herramientas redundará no solo en una búsqueda de los desperdicios puntuales de una organización, sino también en una minimización de los costos globales y, por ende, una mayor competitividad de la compañía.

El uso de la cibernética de segundo orden para el análisis de sistemas productivo utiliza procedimientos y técnicas científicas para el estudio y la operación de organizaciones. El uso de la cibernética, entonces, facilita el proceso de diseño, ya que a partir de la definición del propósito del sistema productivo: *minimizar los costos*, se definen las metas, su proceso de evaluación y los diferentes indicadores, a la vez que se identifica el sesgo asociado al observador.

El modelo propuesto para el análisis del TPS presenta tres ciclos de realimentación de primer orden en tres niveles, lo que proporciona un sistema de control en el cual se evalúa el conocimiento desde perspectivas axiológicas, epistemológicas y ontológicas.

Finalmente, la identificación de las distintas herramientas, elementos y métodos utilizados en el TPS, así como su interrelación, brinda la oportunidad para que los ingenieros detecten las falencias, dificultades y posibilidades existentes en función de mejorar los sistemas productivo. De esta forma, puede lograr una reducción de los costos y favorecer flujo de información entre los diferentes niveles del sistema.

Referencias

- Ashby, R. (1957). *An introduction to cybernetics*. Londres: William Clowes And Sons.
- Beer, S. (1964). *Cybernetics and management*. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Forrester, J. (1981). *Dinámica de sistemas*. Buenos Aires: Ateneo.
- Francis Heylighen, C. J. (2001). Cybernetics and second-order cybernetics. En *Encyclopedia of physical science & technology*. Nueva York: Academic Press.
- Golhar D, S. C. (1991). The just in time philosophy: A literature review. *International journal of Production Research*, 2(1), 657-696.
- Jorgenson, K. M. (1987). Japan-U.S. industry-level productivity comparisons, 1960-1979. *Journal of the Japanese and International Economies*, 1(1), 1-30.

- Kubiak, W. (1993). Minimizing variation of production rates in just-in-time systems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 66(3), 259-271.
- Lander, J. L. (2007). The Toyota production system and art: Making highly customized and creative products the Toyota way. Recuperado de <http://wenku.baidu.com/view/75366423af45b307e8719765>
- Maruyama, M. (1963). The second cybernetics: Deviation-amplifying mutual causal processes. *American Scientist*, 57(2), 164-179.
- McLachlin, R. (1997). Management initiatives and just-in-time manufacturing. *Journal of Operations Management*, 15, 271-292.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System: An integrated approach to Just In Time*. Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- Morgan, J. y Liker, J. (2006). *The Toyota product development system*. Nueva York: Productivity Press.
- Nova, P. W. (1965). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Nova, P. W. (2011). *Cibernética de tercer orden y su aplicación a la telefonía móvil*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond large scale production*. Nueva York: Productivity Press.
- Pakman, M. (1996). *Las semillas de la cibernética*. Barcelona: Gedisa.
- Robb, F. (1984). Cybernetics in management thinking. *Systems Research*, 1(1), 5-23.
- Shingo, S. (1986). *Zero quality control: Source inspection and the Poka-Yoke System*. Nueva York: Productivity Press.
- Shingo, S. (1990). *The Shingo production management system: Improving process functions*. Tokio: Productivity Press.
- Shy, O. (1996). *Industrial organization: theory and applications*. Boston: The MIT Press.
- Shy, O. (2001). *Industrial organization: theory and applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Skyttner, L. (2001). *General systems theory*. Gavle, Sweden: World Scientific.
- Spear, K. B. (1999). Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvar Business Review*, 77(5), 96-106.
- Torres, J. (1994). *Elementos de producción, planeación, programación y control*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Toyota (s. f.). The origin of the Toyota Production System. Recuperado de www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/origin_of_the_toyota_production_system.html

- Vidgen, R. (1998). Cybernetics and business processes: Using the viable system model to develop an enterprise process architecture. *Knowledge and Process Management*, 5(2), 118-131.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Massachusetts: The MIT Press.
- Womack, D. J. (1996). Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection. Recuperado de <https://hbr.org/1996/09/how-to-root-out-waste-and-pursue-perfection>
- Yolles, M. (2006). *Organization as complex system an introduction to knowledge cybernetics*. Nueva York: Information Age Publishing.
- Zangwill, K. P. (1998). Toward a theory of continuous improvement and the learning curve. *Managemet Science*, 44(7), 910-920.

