

La automatización modular: una nueva opción para procesos automatizables

Javier Pérez Ramírez, Griselda González Díaz Conti, Juan José Padilla Ybarra

Resumen— En este artículo se presenta una nueva forma de llevar a cabo la automatización de un proceso productivo. La idea principal de esta nueva forma de automatizar se basa en una idea muy simple: “no es necesario automatizar el proceso en su totalidad para lograr mejoras en él”; dicho de otra forma, automatizando algunas partes del proceso se pueden lograr sustanciosas mejoras. Esto involucra la realización de un estudio de cómo se puede dividir en etapas o módulos la automatización y en que orden deben ser implantados dichos módulos, de aquí que se le haya llamado a esta metodología: automatización modular. A primera vista esto pudiera parecer una tarea trivial; sin embargo, son varios los aspectos que hay que tomar en cuenta para realizarla, en este artículo se presentan dichos aspectos y una forma sistematizada de llevarla a cabo. Esta forma de automatizar está orientada principalmente para aquellos casos en los que los empresarios no cuente con suficientes recursos económicos para automatizar sus procesos en su totalidad y que sin embargo estén interesados en mejorar: la calidad de su producto, las condiciones de trabajo de sus empleados o la productividad con una inversión inicial reducida.

Palabras clave— Automatización, mipyme, modular.

I. INTRODUCCIÓN

La participación de la micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) en el desarrollo de la economía de México es fundamental, éstas constituyen más del 90% de las empresas establecidas a nivel nacional, generando el 42% del producto interno bruto y el 64% del empleo [1]. El PIB aportado por la MIPYME es bajo en comparación con el aportado por las grandes empresas, constituyendo éstas el 10% restante. Por ello es importante trabajar para incrementar la productividad de la MIPYME.

Sérvulo Anzola en el 2002 realizó un estudio a pequeñas empresas dedicadas a la producción, llegando a la conclusión

de que el 80% de éstas cuentan con un equipo de producción de baja tecnología y/o es obsoleto [2].

Las empresas del sector industrial centran su éxito directamente en la producción, por lo que el equipo utilizado en la producción juega un papel importante. El hecho de no contar con el equipo adecuado influenciará negativamente en la productividad de la empresa y hasta en la calidad del producto. En nuestro país se ha puesto en marcha programas de apoyo para la micro, pequeña y mediana empresa, siendo esta una buena opción para modernizar la maquinaria del tan alto número de empresas dedicadas a la producción que cuentan con equipo obsoleto o carecen de él. Sin embargo; la propuesta, de automatización modular que aquí se presenta está orientada a la administración de la tecnología; es decir, como utilizar eficientemente la tecnología para mejorar los procesos productivos en caso de que los empresarios no tengan la capacidad económica para hacer un fuerte inversión inicial.

II. AUTOMATIZACIÓN MODULAR

La automatización modular se define como el conjunto de técnicas que subdividen el proceso identificando y jerarquizando las necesidades de la línea de producción para automatizarla mediante etapas; siendo su principal ventaja la disminución de la inversión inicial. La figura 1 muestra las fases que conforman la metodología las cuales son:

1. Identificación de módulos independientes.
2. Jerarquización de los módulos.
3. Planificación de la implantación.

Aunque pudiera parecer sencilla la idea de segmentar el proyecto de automatización son diversos los aspectos que hay que tomar en cuenta. Antes de dividir en módulos (segmentar) el proyecto de automatización, es necesario:

- a) Conocer el proceso productivo a automatizar.
- b) Contar con un proyecto de automatización.

La idea de segmentar el proyecto de automatización inicia, identificando módulos productivos, los cuales serán traducidos a módulos automatizables, para finalmente identificar su independencia.

Manuscrito recibido el 29 de junio del 2005. Este trabajo es respaldado por impulso, revista de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales.

Javier Pérez Ramírez en la actualidad labora como profesor de tiempo completo en Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; e-mail: jiperez@itson.mx.

Griselda González Díaz Conti labora como profesora auxiliar en el ITSON Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; e-mail: ggdc78@yahoo.com.mx).

Juan José Padilla Ybarra responsable del programa de maestría en ingeniería en administración de la tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85130; Tel: (644) 4109000, ext. 1200; Fax: (644) 4109001; e-mail: jjpadilla@itson.mx.

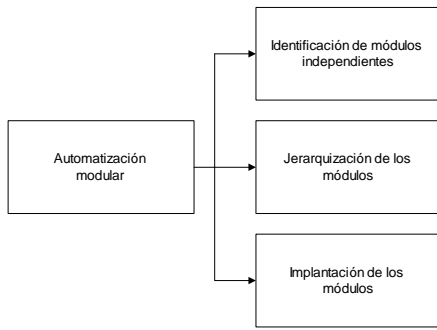


Fig. 1. Fases de la metodología de automatización modular.

No sólo es necesario dividir el proyecto de automatización, también hay que determinar el orden de implantación de los módulos, de acuerdo a la conveniencia de la empresa, para lo cual será necesario definir criterios, sobre los que se basará la evaluación de los módulos. Generalmente son de mayor importancia aquellos criterios que tienen mayor relación con el dinero.

Los criterios para la evaluación son: capacidad de producción, calidad, merma, eliminación de tareas manuales, seguridad del equipo o del personal, costo del módulo, periodo de recuperación de la inversión, costo de mantenimiento, tiempo de vida, costo de mantenimiento, costo de utilización.

Finalmente, una vez determinado el orden de implantación de los módulos se deberá contar con un programa de instalación, el cual señale los tiempos requeridos para la misma, fechas de inicio de la instalación y de operación del módulo, así como el costo y el periodo de recuperación de la inversión.

Con todas las ideas dadas anteriormente ya estamos listos para profundizar en cada una de las fases de la automatización modular.

A. Fase 1. Identificación de módulos independientes

La primera fase de la metodología involucra tres tareas (figura 2):

- a) Estructuración del proceso productivo.
- b) Segmentación de la automatización.
- c) Diagrama de la automatización modular.

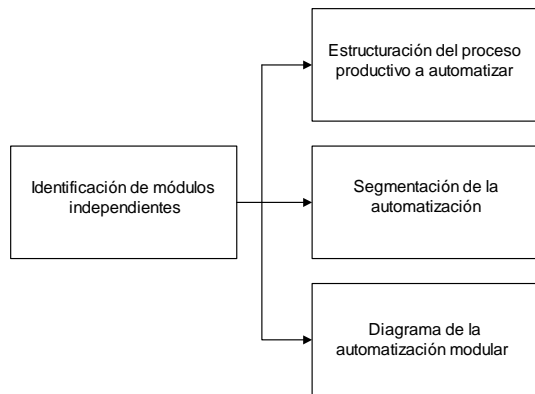


Fig. 2. Tareas de la Identificación de módulos independientes.

| ETAPA | | | |
|---------------|--|-------------|--|
| DESCRIPCIÓN | | | |
| OPERACIONES | | | |
| IDENTIFICADOR | | DESCRIPCIÓN | |
| ENTRADAS | | SALIDAS | |
| | | | |
| FUNCIÓN | | ELEMENTO | |
| | | | |

Fig. 3. Formato para la identificación de entradas, salidas y elementos necesarios para realizar operaciones.

La primera tarea consiste en estructurar el proceso productivo, apoyándose en los diagramas de flujo de proceso para el producto y la operación, así como en el diagrama funcional del proceso [3]. Los diagramas de flujo describirán cada una de las operaciones requeridas para la elaboración del producto, las cuales de acuerdo a su afinidad serán ligadas para determinar las etapas del proceso.

Una vez estructurado el proceso productivo y reconocidas las etapas del mismo, se procede a la segmentación de la automatización; es aquí donde se traduce el proceso productivo al proyecto de automatización, identificando entradas y salidas, así como elementos necesarios para realizar las operaciones de cada una de las etapas, todo ello a través del llenado de un formato preestablecido, como el de la figura 3.

Posteriormente se determina el presupuesto de construcción de cada una de las operaciones descritas en el diagrama de flujo de proceso, mediante el llenado del formato de la figura 4.

✓ **PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN**

OPERACIÓN _____ **CLAVE** _____

✓ Nombre de la maquinaria que se diseña _____

Compañía para la que se realiza el diseño _____ Fecha de evaluación _____

| Unidades | Identificador | ✓ Descripción | Costo Unitario | Flete y seguro | Costo puesto en planta | Costo total | | |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|------------------------|-------------|--|--|
| | | | | | | | | |
| Dispositivos y Herramientas | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Mano de Obra y Servicios | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Otros | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| ✓ COSTO TOTAL | | | | | | | | |
| COSTO DE ELEMENTOS REUTILIZABLES | | | | | | | | |
| ✓ COSTO DE ACOPLAMIENTO ANTERIOR | | | | | | | | |
| COSTO DE ACOPLAMIENTO POSTERIOR | | | | | | | | |
| INVERSIÓN NECESARIA | | | | | | | | |

SÍMBOLOS: * el mismo dispositivo es utilizado en distintas operaciones.
+ el elemento se utiliza actualmente en el proceso.

Fig. 4. Formato para determinar el presupuesto.

La estimación del presupuesto involucra una selección previa de los dispositivos adecuados para realizar una determinada operación, así como una revisión de los dispositivos que actualmente utiliza el proceso, ya que si el proyecto de automatización puede reutilizar dispositivos existentes en el equipo de producción actual, ayudará a disminuir el costo de construcción de éste. Para identificar aquellos dispositivos que son utilizados actualmente se coloca el símbolo “+” en la casilla de identificación del formato para el presupuesto.

Como algunos dispositivos pueden ser utilizados en diversas operaciones es necesario identificarlos ya que pueden verse duplicados en varios presupuestos. Estos dispositivos son identificados con el símbolo “*”. En un primer momento es necesario incluir el costo de dichos dispositivos en el presupuesto de todas las operaciones que requieran del dispositivo, más adelante sólo se cargará a aquella operación que resulte ser la primera en instalarse.

La inversión necesaria para realizar una determinada operación se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I = CT - CR + CAPR + CAPO$$

donde:

- I → Inversión necesaria
- CT → Costo total de la operación
- CR → Costo de elementos reutilizables
- CAPR → Costo de Acoplamiento anterior
- CAPO → Costo de acoplamiento posterior

La última tarea para la identificación de módulos independientes es precisamente la verificación de la independencia de las operaciones, la cual se realiza de acuerdo a un diagrama de flujo de la figura 5. Para ello se elige una operación del proceso y se toman en cuenta los siguientes criterios:

- a) ¿La operación posterior se realiza de forma secuencial a ésta?
- b) ¿Hay necesidad de realizar transporte entre esta operación y la posterior?
- c) ¿La operación por si misma mejora algún aspecto del proceso (productividad, calidad, etc.)?
- d) Puede darse el caso de que algunos materiales que son utilizados por la operación que se esta analizando también sean utilizados por otra operación. En este caso cabe la pregunta: ¿el costo de los materiales que utilizan en común ambas operaciones es mayor al 50% del costo de la operación en cuestión?

La respuesta a estas preguntas se encuentra en los diagramas de flujo de proceso y diagrama funcional. Al finalizar el análisis de la segmentación se cuenta con módulos independientes automatizables, los cuales deberán ser jerarquizados para determinar el orden de instalación.

B. Fase 2. Jerarquización de los módulos

La jerarquización de los módulos contempla las tareas de la figura 6: recopilación de la información y evaluación de los módulos. La recopilación de la información se centra en la concentración del valor de desempeño de los diferentes módulos para cada uno de los criterios de evaluación, figura 7, así como también recoge las escalas de ponderación utilizadas

para la evaluación; cada uno de ellos en el formato correspondiente. El valor de desempeño es una cifra que cuantifica el comportamiento de esa parte del proceso (módulo) con relación al criterio en cuestión, se obtiene mediante fórmulas predefinidas para cada criterio, las cuales requieren información específica de la producción.

La herramienta utilizada para la evaluación es la matriz de decisión[4], figura 8, donde se deberán llenar las columnas de “ponderación” para cada módulo en los diferentes criterios, la cual traduce el valor de desempeño recopilado a la escala de ponderación antes definida.

La ponderación se calcula mediante una fórmula definida de acuerdo al aspecto que se evalúe. Son tres las formulas definidas para obtener la ponderación de los módulos para cada criterio, figura 9, de acuerdo al comportamiento del mismo:

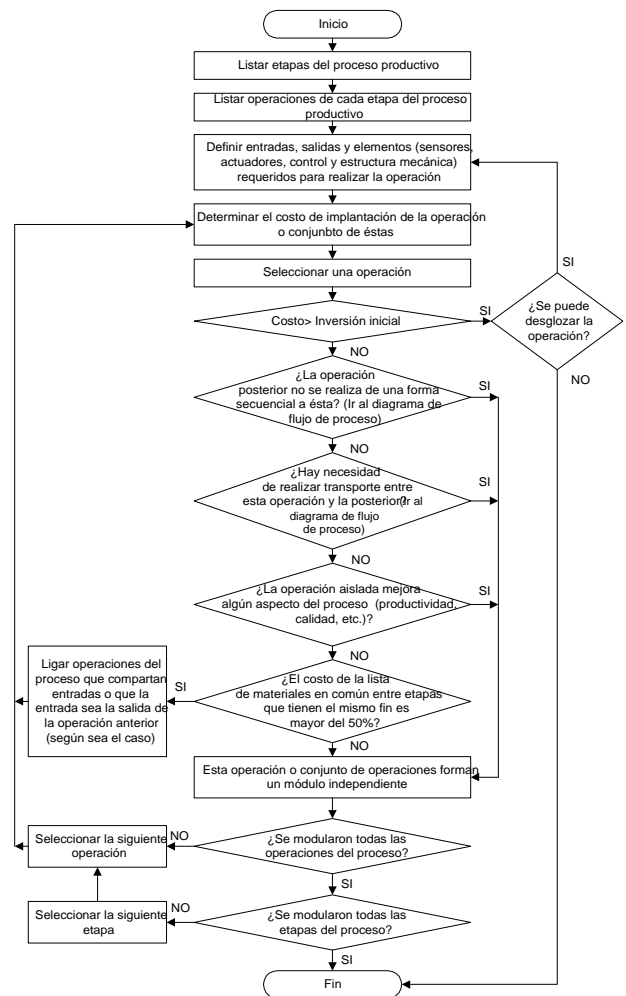


Fig. 5. Diagrama de flujo para la identificación de módulos independientes.

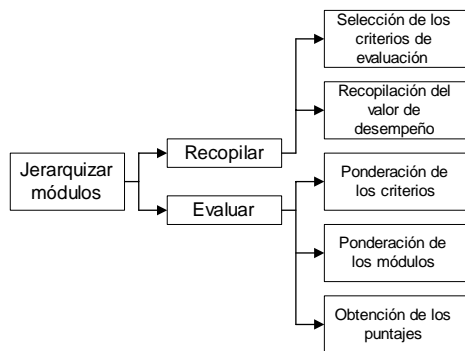


Fig. 6. Tareas de la segunda fase de la metodología.

✓ *“Línea de Producción o maquinaria que se diseña”*
“Compañía para la que se realiza el diseño” Fecha de evaluación

| Criterio | Unidad | MÓDULO A1 | MÓDULO B1 | MÓDULO B2 |
|---|--------|-----------|-----------|-----------|
| | | Valor | Valor | Valor |
| Capacidad real de producción | | | | |
| Merma | | | | |
| Calidad | | | | |
| Eliminación de tareas manuales | | | | |
| Seguridad del equipo o personal | | | | |
| Cuellos de botella | | | | |
| Periodo de recuperación de la inversión | | | | |
| Costo del módulo | | | | |
| Reducción del costo de mantenimiento | | | | |
| Tiempo de vida | | | | |
| Costo de utilización | | | | |

Fig. 7. Formato para la recopilación del valor de desempeño.

✓ *“Línea de Producción o maquinaria que se diseña”*
“Compañía para la que se realiza el diseño”
 Fecha de evaluación:

| Criterios | Módulo A1 | | Módulo B1 | |
|---|-------------------------|-------------|-----------|-------------|
| | Ponderación del aspecto | Ponderación | Puntaje | Ponderación |
| Descripción | | | | |
| Capacidad real de producción | | | | |
| Merma | | | | |
| Calidad | | | | |
| Eliminación de tareas manuales | | | | |
| Seguridad del equipo o personal | | | | |
| Cuellos de botella | | | | |
| Periodo de recuperación de la inversión | | | | |
| Costo del módulo | | | | |
| Costo de Mantenimiento | | | | |
| Tiempo de vida | | | | |
| Costo de utilización | | | | |
| TOTAL | | | | |

Fig. 8. Formato para la evaluación de los módulos.

Una vez llenadas todas las columnas correspondientes al campo “ponderación” de la figura 8, se procede a calcular el puntaje de cada módulo, obteniendo inicialmente el puntaje de cada criterio para el módulo, determinado por el producto de la ponderación determinada para el criterio y la ponderación del módulo del mismo criterio; finalmente la suma de los puntajes calculados por el producto para todos los criterios dará la puntuación correspondiente a cada módulo.

1)
$$P = \frac{M}{|N - C|} * V$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que un valor grande del valor de desempeño significa un mayor beneficio al proceso. Ej. Capacidad de producción

Donde: P → Valor ponderado
 M → Límite superior de la escala de ponderación.
 N → Cifra mayor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.
 C → Cifra menor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.
 V → Valor de desempeño del módulo en un criterio específico.

2)
$$P = \frac{M}{N - C} * (N - V)$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que un valor pequeño del valor de desempeño significa un mayor beneficio al proceso. Ej. Merma

Donde: P → Valor ponderado
 M → Límite superior de la escala de ponderación.
 N → Cifra mayor del valor de desempeño recopilado en el criterio por todos los módulos.
 V → Valor de desempeño del módulo en un aspecto específico.

3)
$$P = \begin{cases} M - \frac{D}{|U - D|} * |U - V| & D \neq U \\ 0 & D = U \end{cases}$$
 Esta fórmula se aplica en aquellos criterios en los que una desviación del valor central significa un perjuicio al sistema. Ej. Cuellos de botella

Donde: P → Valor ponderado
 M → Límite superior de la escala de ponderación.
 U → Valor central.
 V → Valor de desempeño del módulo en un aspecto específico.
 D → Máxima desviación con respecto al valor central. (superior o inferior)

Fig. 9. Formulas y descripción de las mismas.

A continuación se deberán comparar las puntuaciones de cada uno de los módulos, siendo el módulo con mayor puntaje el primero a instalar. Posteriormente se deberá realizar de nuevo el proceso de evaluación, rectificando los valores de desempeño utilizados para la primera evaluación, puesto que las condiciones en las que se encuentra la línea de producción, pudieran cambiar al instalar el primer módulo, modificándose así el valor de desempeño de criterios como: capacidad de producción, costo de los módulos, mermas, etc. No obstante

que en realidad el módulo no se encuentre instalado al momento de realizar las evaluaciones subsecuentes, se deberá verificar el impacto de su instalación en la línea de producción. Por ejemplo, si el primer módulo contiene dispositivos que también son utilizados por otros módulos, éstos deberán deducirse del costo de instalación de los módulos posteriores, pues al instalar el primer módulo se realizará su compra. De tal forma, al reducir el costo de instalación de los módulos, se reducirá también el periodo de recuperación de la inversión. Sin embargo puede darse el caso, que la instalación de un nuevo módulo no modifique el valor de desempeño para los módulos restantes; si esto sucede, no es necesario iterar la ponderación, sólo bastará con seleccionar el módulo con mayor puntaje de la evaluación. Entonces la siguiente iteración sucederá hasta que la instalación de un nuevo módulo modifique los valores de desempeño de los módulos restantes. El proceso de jerarquización termina en el momento que todos los módulos han sido organizados jerárquicamente.

C. Fase 3. Planificación de la implantación.

Por último la *planificación de la implantación de los módulos* consiste en la elaboración de un programa de instalación del proyecto de automatización modular, a través del llenado de una tabla, figura 10, que indica aspectos como: nombre del módulo, costo del módulo, capacidad de producción real, recuperación de la inversión, fecha de inicio de instalación, duración de la instalación y fecha de inicio de trabajo del módulo.

El costo del módulo, capacidad de producción y recuperación de la inversión, deberán ser tomados de los cálculos realizados en la fase anterior, mientras que las fechas de instalación e inicio de trabajo del módulo se determinarán tomando en

cuenta la planificación de la empresa y del ingeniero dedicado a la instalación.

III. CONCLUSIONES

El sector industrial de la micro y pequeña empresa en nuestra región, son empresas con un futuro prometedor y posibilidad de ampliar su mercado, sin embargo su equipo de producción actual las limita. La metodología de automatización modular ayudará a todas estas empresas a lograr modernizar su equipo, gracias a la reducción de la inversión inicial, vislumbrándose un gran número de empresas que pudieran beneficiarse con su aplicación. El hecho de automatizar su equipo de producción les ayudará a elevar su productividad, mejorar la calidad, eliminar riesgos, etc.; impulsando su presencia en el mercado local, nacional e internacional.

En la actualidad no se ha publicado alguna herramienta para automatización similar, es decir, que contemple la segmentación del proyecto de automatización para implantarlo en etapas buscando reducir la inversión inicial, siendo ésta una muy buena opción para aquellos empresarios que no cuenten con recursos suficientes para realizar una automatización total.

Una de las desventajas de la metodología de automatización modular, es el probable aumento del costo total de la automatización, debida a la necesidad de acoplamiento entre módulos anterior y posterior al nuevo módulo instalado, el cual no se realizaría de instalarse el proyecto completo.

La metodología de automatización modular es una herramienta útil para aquellas personas que se dedican a la elaboración de proyectos de automatización, su aplicación es fácil puesto que se apoya de herramientas para la identificación de problemas y evaluación, ya conocida. Además de que define fórmulas sencillas para la evaluación, las cuales eliminan la subjetividad al momento de evaluar.

Es importante que para su aplicación se realice un correcto análisis del proceso actual, ya que de la información recopilada dependerán las ponderaciones dadas a los módulos y por lo tanto influirá en la jerarquización de los módulos. Otro aspecto que cabe señalar, es la importancia de la participación de los empresarios para los que se realiza el proyecto, en el momento de decidir las puntuaciones dadas a los diferentes criterios de evaluación.

Puesto que la jerarquización depende de las puntuaciones dadas a los diferentes criterios de evaluación no hay un orden único de implantación de los módulos, éste dependerá de las necesidades de la empresa traducidas en ponderaciones para los aspectos.

Se recomienda realizar varias corridas si no se está seguro de las ponderaciones dadas a los aspectos, de tal manera que se visualice los cambios en el orden de implantación de los módulos.

Otro aspecto que pudiera no ser ventajoso para la automatización modular, son los paros que tendrá que realizarse en la línea, cada vez que se introduzca un nuevo módulo, pues si la automatización se realizará en un sólo periodo se dejaría de producir menos tiempo. Sin embargo

✓ “Línea de Producción o maquinaria que se diseña”
 “Compañía para la que se realiza el diseño” Fecha de evaluación

| Orden de Implantación | Módulo | Costo del módulo | Capacidad de producción real | Periodo de recuperación de la inversión (tiempo) | Fecha de Inicio de la instalación | Duración de la instalación | Fecha de Inicio de trabajo del módulo | Fecha de liquidación del módulo |
|-----------------------|--------|------------------|------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | A 1 | | | | | | | |
| 2 | B 1 | | | | | | | |
| 3 | B 2 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| | ⋮ | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

Fig. 10. Formato para la planificación de la instalación.

este aspecto puede ser librado con una correcta planeación entre los encargados de la automatización y la producción.

Finalmente, no queda mas que recalcar que la metodología de automatización modular es hoy, una buena opción para que la micro, pequeña y mediana empresa de la localidad, puedan actualizar su equipo de producción.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Economía. Consulta:12/octubre/2003. “Fondos de apoyo a la Mipymes”. <http://www.amiti.org.mx/eventos/logos/Fondos.pdf>
- [2] Sérvulo Anzola. 2002. “Administración de pequeñas empresas”. Mc Graw Hill. Segunda edición. México D.F. Págs. 55-57
- [3] Baca U. Gabriel. 1990. “Evaluación de proyectos de inversión”. Mc Graw Hill. Segunda edición. Edo. de México. Págs. 116-119
- [4] William K. Hodson. 1996. “MAYNARD Manual de Ingeniería Industrial”. Mc Graw Hill. Cuarta edición. México D.F. Págs. 7.38-7.43

Javier Pérez Ramírez, obtuvo el título de Lic. en electrónica en la Universidad Autónoma de Puebla en 1996, el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Electrónica en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, en Cuernavaca Morelos, en el 2000, del 2000 a la fecha labora como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de Sonora.

Griselda González Díaz Conti, está por obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Administración de la Tecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica en el 2001 en el ITSON, del 2002 a la fecha labora como profesora auxiliar en el ITSON.

Juan José Padilla Ybarra, Investigador Nivel I – SNI. Egresó del Instituto Tecnológico de Sonora en 1991 como Ingeniero Electrónico, en 1995 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Bioelectrónica en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. En 1999 obtuvo el grado de Doctor del INPL con especialidad en Automatización y Procesamiento Digital de Señales en el Instituto Politécnico Nacional de Lorena, Francia. Desde 1993 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.