



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**

**PROYECTO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
EN ELÉCTRICA**

**APLICACIÓN DEL MÉTODO CPM-PERT PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN  
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**Autores: Br., Norlin Antonio Reyes Espinoza, Carnet: 2009-29379**  
**Br., Tomas Antonio Vargas Saravia, Carnet: 2009-30204**

**Tutor: Ing. Juan González**

**Managua, Nicaragua**

**Diciembre, 2017**

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>NÚMERO DE PAGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>PLANEACIÓN ESTRATÉGICA</b>	<b>5</b>
<b>CAMINO DE LA RUTA CRÍTICA</b>	<b>10</b>
<b>AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL</b>	<b>24</b>
<b>APLICACIÓN DEL METODO CPM-PERT</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>62</b>

## **I. RESUMEN**

Para realizar la buena planeación y dirección de proyectos en el área de Automatización Industrial se requiere de la utilización de herramientas y técnicas que permitan realizar estimaciones reales para su buena gestión. Por esa razón se identificó la necesidad de la utilización y aplicación del método CPM-PERT para el control de los tiempos en la ejecución de tareas y actividades para lograr el cumplimiento de las metas planteadas.

Todos los procesos son importantes para tener éxito en el cumplimiento de objetivos y metas del proyecto. Estos procesos están relacionados en las diferentes etapas que tiene el proyecto, ningún proceso se debe ni se tiene que concebir como isla, ya que las entradas y/o salida hacen la relación de dirección de proyecto desde el inicio hacia el final. La Gestión de la Integración es la única área de conocimiento que aparece en todos los grupos de procesos de un proyecto, lo que implica la necesidad de conocer específicamente el peso que tiene para el éxito en la gestión de proyectos.

La importancia de “Monitorear y Controlar el Trabajo” es de suma importancia. El método CPM PERT es una técnica de mucha utilidad en el proceso de planeación, ejecución, y monitoreo de la lista de actividades que se identificaron en función de los requisitos y requerimientos que haya definido un determinado cliente o patrocinador del proyecto.

Según lo antes expuesto, la presente propuesta de trabajo monográfico, G esfuerzos en reproducir un modelo de estimación con el cuál se podrá gestionar proyectos en el área de ingeniería eléctrica. Por consiguiente, generará valor para que pueda ser utilizado por diferentes catedráticos en la enseñanza de los cursos de pregrado de la carrera de Ingeniería Eléctrica que actualmente se están impartiendo en la Facultad de Electrotecnia y Computación de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

## **II. ANTECEDENTES**

En entorno educativo universitario nicaragüense, se realizó un proceso de búsqueda y recopilación de datos orientados a verificar cuantos trabajos de este nivel se han realizado en materia de aplicación del método CPM-PERT para proyectos.

Esta etapa ha sido crucial para concretar la formulación de este proyecto monográfico, y así valorar cuál será su impacto, utilidad y pertinencia. En este sentido, podemos concluir que no hubo hallazgo de trabajos similares orientados a presentar un estudio en el que se pueda encontrar información sobre la aplicación del método CPM-PERT para la planeación, ejecución y monitoreo de proyectos en Automatización Industrial. Por ello, esta investigación adopta un carácter totalmente exploratorio al no existir trabajos precedentes que la enriquezcan y le den fuentes informativas para su inicio, más que la disponible en la literatura científica que gira entorno a esta temática y las especificaciones técnicas de los estándares que sustentan este método.

Por tales razones, este proyecto dentro de la carrera, la universidad y el sector educativo superior lo hacen novedoso y pionero en esta idea o línea de desarrollo, por cuanto más que llegar a convertirse en un texto de referencia para la carrera de ingeniería en eléctrica y detallada de cómo se debe de realizar este tipo de procesos para resolver problemas serios relacionados con la gestión de proyectos en Automatización Industrial.

Finalmente, queremos establecer que la meta a partir de este momento es sentar antecedentes dentro del país en esta área e incentivar con ello en los estudiantes, un mayor interés por estas temáticas tan importantes relacionadas a proyectos.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Existe la necesidad en la carrera de eléctrica disponer de documentación actualizada, pertinente y de buen nivel académico respecto a la elección y requerimientos para la aplicación del método CPM-PERT en proyectos relacionados con la ingeniería eléctrica.

La utilización de técnicas para la estimación CPM & PERT del entorno de proyectos, son de suma importancia, por cuanto contribuyen en modo significativo a garantizar de manera óptima un uso eficiente del tiempo, el alcance y los costos para el desarrollo de proyecto, evitando pérdidas por desvanecimiento o los efectos nocivos de la mala planeación y administración que tendrá un impacto significativo al no cumplir con las metas y objetivos establecidos.

Por ello, este método que se derivará como culminación de este trabajo de monografía, será una excelente referencia en esta materia para todos los interesados en el tema y muy especialmente los estudiantes de los años terminales de la carrera de ingeniería en eléctrica de nuestra universidad, esto por tratarse de una temática muy poco tratada en aulas de clase y de mucha necesidad para los interesados en incursionar dentro del ámbito automatización y control, potencia, despliegue de redes de transmisión de alta tensión, etc.

## **IV. OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

- **Realizar la aplicación del método CPM-PERT para la buena dirección y gestión en un proyecto de Automatización Industrial.**

### **Objetivos Específicos:**

1. Realizar un estudio detallado del método CPM-PERT para la gestión de proyectos.
2. Describir la metodología del método CPM-PERT en la etapa de planeación de proyectos.
3. Desarrollar un caso de estudio donde se aplique el método CPM-PERT para el cumplimiento de las metas definidas en el proyecto.

## V. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA [4]

La palabra estrategia se ha utilizado de muchas maneras y en diferentes contextos a lo largo de los años. Su uso más frecuente ha sido en el ámbito militar, donde el concepto ha sido utilizado durante siglos.

En el caso de los empresarios modernos con inclinación competitiva, las raíces del concepto de estrategias se presentan con un atractivo evidente. Aunque los estrategias de las empresas no proyectan la destrucción de sus competidores en el mercado, sí tratan de vender más que sus rivales y obtener más y mejores resultados que ellos.

Dentro de los diferentes puntos de vista tenemos que los primeros estudiosos que ligaron el concepto de estrategia a los negocios fueron Von Neumann y Morgenstern, en su obra la teoría del juego. Allí definieron la estrategia como la serie de actos que ejecuta una empresa, los cuales son seleccionados de acuerdo con una situación concreta.

Peter Drucker, en su libro *The Practice of Management* (1954), afirmaba que la estrategia requiere que los gerentes analicen su situación presente y que la cambien si es necesario. Parte de su definición partía de la idea que los gerentes deberían saber qué recursos tenía su empresa y cuáles debería tener.

Alfred Chandler definió estrategia empresarial, en su obra *Strategy and Structure* (1962), basado en su análisis de cuatro grandes de la industria estadounidense, a principios del siglo XX: DuPont, Estándar Oil of New Jersey, General Motor y Sears Roebuck. Chandler definió la estrategia como el elemento que determinaba las metas básicas de una empresa, a largo plazo, así como la adopción de cursos de acción y la asignación de los recursos necesarios para alcanzar estas metas.

Igor Ansoff, en 1965, ofreció una definición más analítica, enfocada hacia la acción. Ansoff consideró que la estrategia era un “hilo conductor” que corría entre las actividades de la empresa y los productos/mercados. La estrategia se convierte así en la un regla para tomar decisiones; un hilo conductor con cuatro componentes:

1. El alcance del producto/mercado
2. El vector de crecimiento
3. La ventaja competitiva
4. La sinergia

Todas las definiciones anteriores, tienen cuatro elementos en común. En primer lugar está el concepto de un ambiente, es decir, una serie de condiciones ajenas a la empresa, a las que ésta debe responder. Algunas de estas condiciones son negativas (amenazas) y otras positivas (oportunidades). En segundo lugar, la empresa debe establecer metas u objetivos básicos.

El objetivo de más alto nivel se suele conocer como la misión; es decir, una definición de la razón de ser de la empresa. En tercer lugar, la gerencia debe realizar un análisis de la situación, con el fin de determinar su posición en el ambiente y su cantidad de recursos. Este análisis se suele conocer como Fuerzas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, FODA por sus siglas en español, (SWOT en inglés). Por último, la empresa proyecta como aplicar sus recursos, a efecto de alcanzar sus metas y lograr adecuarse lo mejor posible a su ambiente.

El enfoque de la estrategia se basa fundamentalmente en dos supuestos. El primero es que el análisis siempre debe ir antes que la acción. La definición de metas, el análisis de la situación y la planificación deben ir antes de cualquier acción que emprenda la empresa. A esto se le suele llamar formulación de la estrategia. El segundo supuesto es que la acción, con frecuencia llamada ejecución de la estrategia, está a cargo de personas que no son analistas, gerentes de niveles superiores ni planificadores. Estas son personas que ponen en práctica sus fórmulas, con el mínimo de sorpresas posible.



## DEFINICIONES

Henry Mintzberg, en su libro El Proceso Estratégico, Conceptos, Contextos y Casos, define estrategia de la siguiente manera: es el patrón o plan que integra las principales metas y políticas de una organización y, a la vez, establece la secuencia coherente de las acciones a realizar.

Una estrategia bien formulada ayuda a poner en orden y asignar, tomando en cuenta sus atributos y deficiencias internas, los recursos de una organización, con el fin de lograr una situación viable y original, así como anticipar los posibles cambios en el entorno y las posibles acciones de los oponentes.

A la par de la definición de estrategia debemos definir una serie de conceptos integrados en todo el proceso estratégico.

Capacidad gerencial. Es el conjunto de conocimientos, experiencias, habilidades, actitudes y aptitudes (inteligencia), que permite a las personas influir con medios no coercitivos sobre otras personas para alcanzar objetivos con efectividad, eficiencia y eficacia.

Planificación es:

- una función básica de la gerencia
- determina el futuro deseado
- es filmar una "película" de lo que deseamos que ocurra en la organización
- es el proceso de construir un puente entre la situación actual y la situación deseada

dentro de esta planificación debemos contar con indicadores de gestión, de los cuales definiremos

- productividad

es la relación entre los productos totales obtenidos y los recursos totales consumidos

- efectividad

es la relación entre los resultados logrados y los que nos propusimos previamente y da cuenta del grado de cumplimiento de los objetivos planificados

- eficiencia

es la relación entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de recursos que se había estimado o programado utilizar

- eficacia

Valora el impacto de lo que hacemos, del producto que entregamos o del servicio que prestamos. No basta producir con 100% de efectividad, sino que los productos o servicios sean los adecuados para satisfacer las necesidades de los clientes. La eficacia es un criterio relacionado con calidad (adecuación al uso, satisfacción del cliente).

El desarrollo de un plan estratégico produce beneficios relacionados con la capacidad de realizar una gestión más eficiente, liberando recursos humanos y materiales, lo que redundará en eficiencia productiva y en una mejor calidad de vida y trabajo para los miembros de la organización.

El solo hecho, demostrado por muchos estudios, de establecer una visión, definir la misión, planificar y determinar objetivos, influye positivamente en el desempeño de la institución. La planificación estratégica permite pensar en el futuro, visualizar nuevas oportunidades y amenazas, enfocar la misión de la organización y orientar de manera

efectiva el rumbo de una organización, facilitando la acción innovativa de dirección y liderazgo. La planificación estratégica es una manera intencional y coordinada de enfrentar la mayoría de los problemas críticos, intentando resolverlos en su conjunto y proporcionando un marco útil para afrontar decisiones, anticipando e identificando nuevas demandas.

Una buena planificación estratégica exige conocer más la organización, mejorar la comunicación y coordinación entre los distintos niveles y programas y mejorar las habilidades de administración. La planificación estratégica genera fuerzas de cambio que evitan que las organizaciones se dejen llevar por los cambios, las ayuda a tomar el control sobre sí mismas y no sólo a reaccionar frente a reglas y estímulos externos.

### **Estrategias versus tácticas**

¿En que difieren las estrategias de las tácticas? La diferencia principal radica en la escala de acción o la perspectiva del líder. Lo que parece ser una táctica para el ejecutivo en jefe, puede ser una estrategia para el jefe de mercadotecnia si es que esta determina el éxito total y la viabilidad de la organización. En un sentido más preciso las tácticas pueden ser a cualquier nivel.

Las tácticas son los relineamientos de corta duración, son ajustables y asumen la acción y la interacción que las fuerzas contrarias usan para lograr metas específicas después de su contacto inicial. La estrategia define una base continua para enfocar esos ajustes hacia propósitos más ampliamente concebidos.

Una estrategia genuina siempre es necesaria cuando las acciones potenciales o las respuestas de un contrincante inteligente pueden afectar de manera sustancial el resultado deseado, independientemente de la naturaleza global de las actividades de la empresa. Esta condición atañe a las acciones importantes que son emprendidas en el más alto nivel de las organizaciones competitivas.

## **VI. CAMINO DE LA RUTA CRÍTICA & TECNICA DE REVISIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROGRAMA**

Existen modelos de redes que pueden ser empleados para programar proyectos que comprenden un gran número de actividades. Si la duración de cada actividad es conocida con certeza, el Método del Camino o Ruta Crítica (CPM) puede ser empleado para determinar cuál es el tiempo requerido para completar el proyecto.

El método CPM también permite identificar cuales actividades pueden ser atrasadas sin afectar la duración total del proyecto. Si la duración de las actividades no es conocida con certeza, la Técnica de Revisión y Evaluación del Programa (PERT) puede ser empleado para determinar la probabilidad de que un proyecto termine antes de un periodo definido [1].

Un proyecto define una combinación de actividades interrelacionadas que deben ejecutarse en un cierto orden antes que el trabajo completo pueda terminarse. Las actividades están interrelacionadas en una secuencia lógica en el sentido que algunas de ellas no pueden comenzar hasta que otras se hayan terminado.

Una actividad en un proyecto, usualmente se ve como un trabajo que requiere tiempo y recursos para su terminación. En general, un proyecto es esfuerzo de un solo periodo; esto es, la misma sucesión de actividades puede no repetirse en el futuro. En el pasado, la programación de un proyecto (en el tiempo) se hizo con poca planeación. La mejor herramienta conocida de "Planeación" entonces era el diagrama de barras de Gantt, el cual especifica los tiempos de inicio y terminación de cada actividad en una celda de tiempo horizontal. Su ventaja es que la interdependencia entre las diferentes actividades (la cual controla principalmente el progreso del proyecto) no puede determinarse a partir del diagrama de barras. Las complejidades crecientes de los proyectos actuales han demandado técnicas de planeación más sistemáticas y más efectivas con el objeto de optimizar la eficiencia en la ejecución del proyecto.

La eficiencia aquí implica efectuar la mayor reducción en el tiempo requerido para terminar el proyecto mientras se toma en cuenta la factibilidad económica de la utilización de los recursos disponibles. La administración de proyectos ha evolucionado como un nuevo campo con el desarrollo de dos técnicas analíticas para la planeación, programación y control de proyectos. Tales son el Método de Ruta Crítica (CPM) y la Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos (PERT).

Las dos técnicas fueron desarrolladas por dos grupos diferentes casi simultáneamente (1956-1958). El CPM fue desarrollado por E.I. du Pont de Nemours & Company como una aplicación a los proyectos de construcción y posteriormente se extendió a un estado más avanzado por Mauchly Associates. El PERT, por otra parte, fue desarrollado por la Marina de Estados Unidos por una organización consultora con el fin de programar las actividades de investigación y desarrollo para el programa de misiles Polaris.

Los métodos PERT y CPM están básicamente orientados en el tiempo en el sentido que ambos llevan a la determinación de un programa de tiempo. Aunque los dos métodos fueron desarrollados casi independientemente, ambos son asombrosamente similares. Quizá la diferencia más importante es que originalmente las estimaciones en el tiempo para las actividades se supusieron determinantes en CPM y probables en PERT. Ahora PERT y CPM comprenden realmente una técnica y las diferencias, si existe alguna, son únicamente históricas. En adelante, ambas se denominarán técnicas de "programación de proyectos" [2].

En una sociedad que cada día se vuelve más variable y compleja, lo que puede atribuirse en gran parte al desarrollo de la ciencia y la tecnología, la ejecución de un proyecto es una tarea en la cual deben participar diferentes individuos, agencias, entidades y factores ya que en los diseños modernos se multiplica tremendamente el número de elementos que hay que coordinar y relacionar.

Para resolver este arduo problema se han desarrollado una gran variedad de sistemas o procedimientos formales, ideados con la finalidad de ayudar al administrador de un proyecto a realizar eficientemente su tarea, entre estas técnicas ha destacado una que

utiliza diagramas de flechas conocida como ruta crítica. Dos son los orígenes de ésta técnica o método: El método Pert (Program Evaluation and Review Technique) desarrollado por la armada de los Estados Unidos de América en 1957, para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades integrantes de los proyectos espaciales, por la necesidad de terminar cada una de ellas dentro de los intervalos de tiempo disponibles. Fue utilizado originalmente por el control de tiempos del proyecto Polaris.

El Método CPM (Critical Path Method), el segundo origen del método actual fue desarrollado también en 1957 en los Estados Unidos de América, por un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización los costos mediante la planeación y programación adecuadas de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método de ruta crítica actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

## **DEFINICION Y USOS**

El método de ruta crítica es un proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control) de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse durante un tiempo crítico y al costo óptimo.

La aplicación potencial del método de la ruta crítica, debido a su gran flexibilidad y adaptación, abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado, hasta la planeación y operación de sus instalaciones. A esto se puede añadir una lista indeterminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así, podemos afirmar que el método de la ruta crítica es aplicable y útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

El método es aplicable en tareas tales como: construcción, estudios económicos, planeación de carreras universitarias, censos de población, estudios técnicos, etc, en el presente estudio se aplicará para la planeación de tiempo y costo de proyectos en el área de automatización industrial. Los beneficios derivados de la aplicación del método de la ruta crítica se presentarán en relación directa a la habilidad con que se haya aplicado.

Debe advertirse, sin embargo, que el camino crítico no es una panacea que resuelva problemas administrativos de un proyecto. Cualquier aplicación incorrecta producirá resultados adversos. No obstante, si el método es utilizado correctamente, determinará un proyecto más ordenado y mejor balanceado que podrá ser ejecutado de manera más eficiente y normalmente, en menor tiempo.

Un beneficio primordial que nos brinda el método de la ruta crítica es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto, lo que nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades, facilitando abastecimientos ordenados y oportunos; en general, logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos.

En la práctica el error que se comete más a menudo es que la técnica se utiliza únicamente al principio del proyecto, es decir, al desarrollar un plan y su programación y después se cuelga en la pared el diagrama resultante, olvidándose durante el resto de la vida del proyecto.

El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica. A medida que se presentan hechos o circunstancias imprevistas, el método de la ruta crítica proporciona el medio ideal para identificar y analizar la necesidad de replantear o reprogramar el proyecto, reduciendo al mínimo el resultado adverso de dichas contingencias.

Del mismo modo, cuando se presenta una oportunidad para mejorar la programación del proyecto, la técnica permite determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para que se logre dicha mejoría [3].

El método de la ruta crítica consta básicamente de dos ciclos:

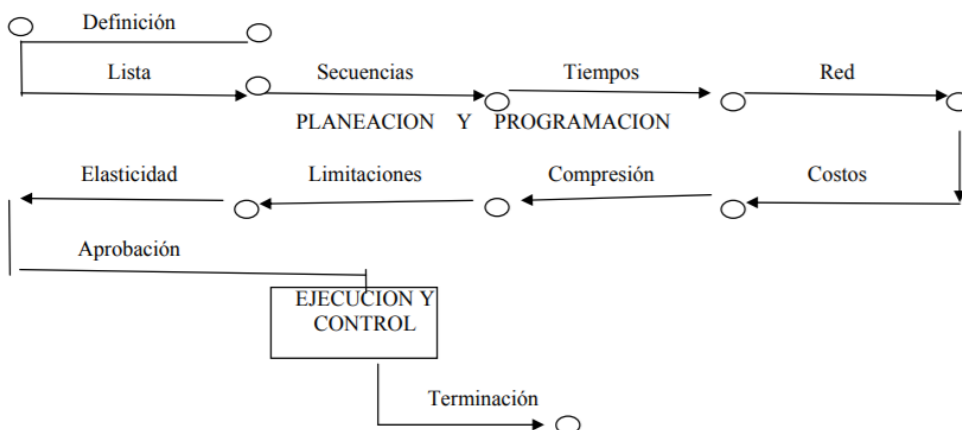
1. Planeación y programación
2. Ejecución y Control.

El primer ciclo termina hasta que todas las personas directoras o responsables de los diversos procesos que intervienen en el proyecto están plenamente de acuerdo con el desarrollo, tiempos, costos, elementos utilizados, coordinación, etc., tomando como base la red de camino crítico diseñada al efecto.

Al terminar la primera red, generalmente hay cambios en las actividades componentes, en las secuencias, en los tiempos y algunas veces en los costos, por lo que hay necesidad de diseñar nuevas redes hasta que exista un completo acuerdo de las personas que integran el grupo de ejecución [3].

El segundo ciclo termina al tiempo de hacer la última actividad del proyecto y entre tanto existen ajustes constantes debido a las diferencias que se presentan entre el trabajo programado y el realizado. Será necesario graficar en los esquemas de control todas las decisiones tomadas para ajustar a la realidad el plan original. Con objeto de entender este proceso, se presenta la figura 1.

**FIG. 1. METODOLOGÍA DE LA RUTA CRÍTICA**





Considerando que el principal objetivo de este trabajo consiste en establecer la metodología de la construcción de la red del camino crítico se abarcará únicamente el primer ciclo, con objeto de presentar la elaboración de la red del camino crítico y entienda sus ventajas y limitaciones.

El primer ciclo se compone de las siguientes etapas: definición del proyecto, lista de actividades, matriz de secuencias, matriz de tiempos, red de actividades, costos y pendientes, compresión de la red, limitaciones de tiempo, de recursos económicos, matriz de elasticidad [3].

Esta etapa, aunque es esencial para la ejecución del proyecto no forma parte del método. Es una etapa previa que debe desarrollarse separadamente y para la cual también puede utilizarse el método de la ruta crítica.

Es una investigación de objetivos, métodos y elementos viables y disponibles, lo que nos aclara si el proyecto va a satisfacer una necesidad o si es costeable su realización. La lista de actividades es la relación de actividades físicas o mentales que forman procesos interrelacionados en un proyecto total. No es necesario que las actividades se listen en orden de ejecución, aunque si es conveniente porque evita que se olvide alguna de ellas. Sin embargo, las omisiones de las actividades se descubrirán más tarde al hacer la red correspondiente.

Es conveniente numerar progresivamente las actividades para su identificación y en algunos casos puede denominarse en clave, no es necesario indicar la cantidad de trabajo ni las personas que la ejecutarán.

En términos generales, se considerará actividad a la serie de operaciones realizadas por una persona o grupo de personas en forma continua, sin interrupciones, con tiempos determinables de iniciación y terminación. Matriz de secuencias existen dos procedimientos para conocer la secuencia de las actividades:

a) Por antecedentes.

b) Por secuencias.

En el primer caso se preguntará a los responsables de los procesos cuales actividades deben quedar terminadas para ejecutar cada una de las que aparecen en la lista. Debe cuidarse que todas y cada una de las actividades tenga cuando menos un antecedente. En el caso de ser iniciales, la actividad antecedente será cero.

En el segundo procedimiento se preguntará a los responsables de la ejecución, cuales actividades deben hacerse al terminar cada una de las que aparecen en la lista de actividades. Para este efecto se debe presentar la matriz de secuencias iniciando con la actividad cero que servirá para indicar solamente el punto de partida de las demás. Matriz de tiempos Mediante esta matriz conocemos el tiempo de duración de cada actividad del proyecto.

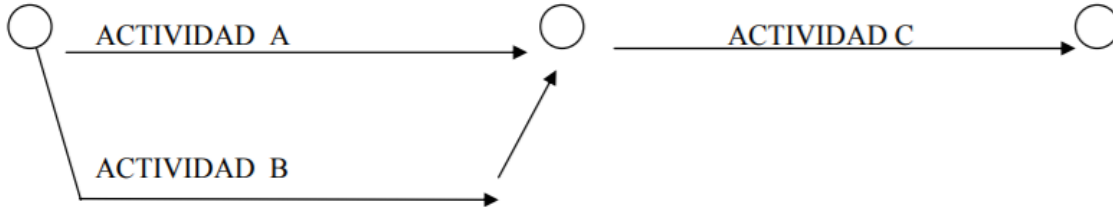
El método de la ruta crítica utiliza únicamente un tipo de estimación de duración, basada en la experiencia obtenida con anterioridad mediante una actividad X. Para asignar el tiempo de duración de una actividad debemos basarnos en la manera más eficiente para terminarla de acuerdo con los recursos disponibles. Tanto la Matriz de Secuencias como la Matriz de Tiempos se reúnen en una sola llamada Matriz de información, que sirve para construir la Red Medida [3].

## **RED DE ACTIVIDADES**

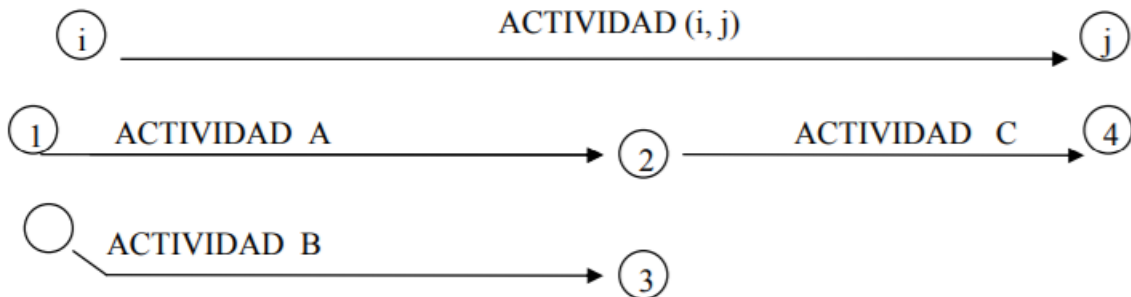
La representación visual del método de la ruta crítica es el diagrama de flechas o red de actividades, que consiste en la ilustración gráfica del conjunto de operaciones de un proyecto y de sus interrelaciones.



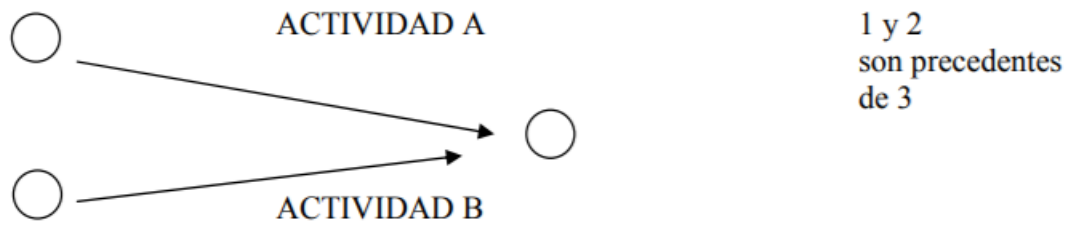
4. ¿Qué actividades se pueden realizar simultáneamente a la ejecución de ésta?



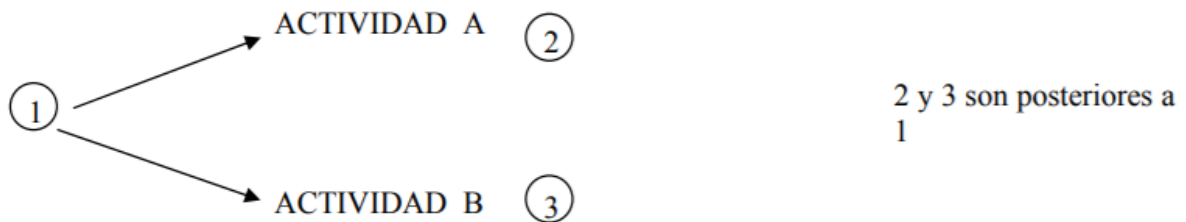
Otros dos aspectos que deben considerarse son los siguientes: 1. La numeración de los eventos 2. La existencia de actividades ficticias La numeración de los eventos permite identificar las diferentes actividades mediante los eventos de iniciación (i) y de terminación (j). para cada actividad puede ser identificada por una combinación única de hechos de iniciación y de terminación, es necesario incluir en la elaboración de una red a las llamadas actividades ficticias, que son aquellas que no representan la realización de una tarea finita, tiempo de duración o costo (o sea que el evento de iniciación, corresponde al evento de terminación con respecto al tiempo).



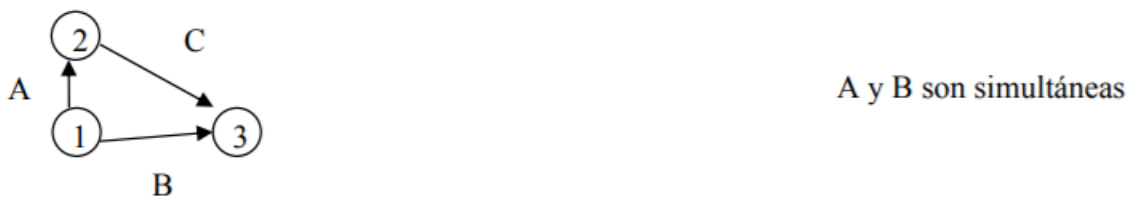
Indistintamente se podrían numerar los eventos al azar y realmente no hay razón por la cual no se pueda o no se deba hacer. La experiencia ha demostrado, sin embargo, que el numerar los eventos de una manera especial hace más simple el procedimiento aritmético. Es buena práctica numerar los eventos de tal manera que el número del inicio de cualquier flecha sea simple menor que el número indicado en su punta; en otras palabras "i" debe ser menor que "j". Eventos precedentes son los eventos inmediatamente anteriores a un determinado evento.



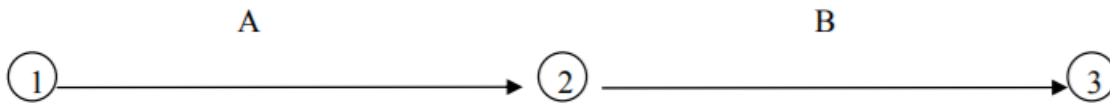
Eventos posteriores son los eventos que siguen inmediatamente a cierto evento.



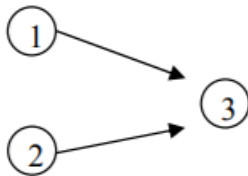
Se dice que dos actividades son simultáneas cuando completamente o en parte pueden ser realizadas en un mismo intervalo de tiempo sin entorpecerse mutuamente.



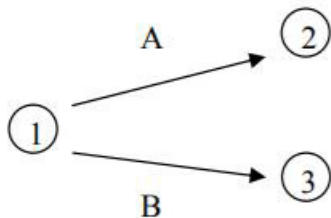
Se dice que dos actividades están ligadas cuando la iniciación de una de ellas depende de que se hayan terminado la otra u otras.



Actividades concurrentes son aquellas que terminan en el mismo evento



A y B son concurrentes



Ay B son divergentes

La única restricción existente hasta el momento, para la correcta elaboración de la red, es el establecimiento lógico de la secuencia de actividades, la cual se obtiene después de contestar, para cada una de las tres preguntas mencionadas anteriormente. Puesto que es un modelo lógico la longitud de la flecha no tiene importancia, así como la dirección en la cual señala.

El hecho significativo es que la flecha representa el principio de la actividad y la punta representa su terminación. Para establecer la red se dibuja o dibujan las actividades que parten del evento cero [3].

A continuación, no debe tomarse la ordenación progresiva de la matriz de secuencias para dibujar la red, sino las terminales de las actividades de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, este proceso se repite considerando las recomendaciones para la construcción de la red.

Una vez realizada la red de actividades, se debe asignar la duración correspondiente a cada una de ellas, para calcular la duración total del proyecto y a la determinación de las fechas próximas de realización de cada actividad.

Para establecer la red se dibuja o dibujan las actividades que parten del evento cero. A continuación, no debe tomarse la ordenación progresiva de la matriz de secuencias para dibujar la red, sino las terminales de las actividades de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, este proceso se repite considerando las recomendaciones para la construcción de la red.

Una vez realizada la red de actividades, se debe asignar la duración correspondiente a cada una de ellas, para calcular la duración total del proyecto y a la determinación de las fechas próximas de realización de cada actividad. Para llevar a cabo estos cálculos se hacen las siguientes suposiciones:

- a) el proyecto se inicia en cero de tiempo relativo.
- b) no se debe iniciar ninguna actividad sin antes, haber completado las tareas cuya ejecución depende ésta.
- c) la realización de cada actividad debe iniciarse tan pronto como sea posible
- d) una vez iniciada, cada actividad se ejecuta sin interrupción, hasta ser terminada.

Cómo es posible calcular las fechas próximas de iniciación y terminación de cada actividad, podemos realizar el mismo procedimiento de cálculo para obtener los tiempos remotos de iniciación y de terminación de cada actividad, de acuerdo, con la duración total del proyecto.

El cálculo de estos tiempos denominados también como fechas, es muy sencillo; lo más pronto que una actividad se puede iniciar es la fecha más próxima en que todas sus actividades precedentes se pueden terminar. Lo más pronto que se puede terminar es simplemente la fecha de iniciación más próxima más el tiempo requerido para la terminación. El primer cálculo que se hace es de los tiempos próximos de iniciación de cada actividad y el procedimiento es el siguiente:

1. Primeramente se asigna al evento de iniciación de la primera actividad de la red, un día hábil igual a cero, el que se anota al lado izquierdo del evento y es su tiempo próximo de inicio.

2. después se procederá a sumarle la duración de cada una de las actividades que principian en ese evento y se anotan del lado izquierdo del evento de terminación respectivamente. Siendo también su próximo del inicio.

3. En el caso de actividades cuyo evento de terminación sea el mismo, deberá considerarse el valor máximo que arrojen los cálculos del paso 2, siendo éste el tiempo próximo de inicio de la siguiente actividad.

4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que se calcule el tiempo próximo de realización de todas las actividades.

5. La cifra final de tiempos próximos de inicio constituye el tiempo en el que se puede llevar a cabo el proyecto. El segundo cálculo que se hace es el de los tiempos remotos de terminación. Esta determinación se efectúa en forma inversa a la anterior, el procedimiento es el siguiente:

1. Se supone que el tiempo remoto de terminación del último evento es igual a su tiempo más próximo de iniciación. Es decir, se toma como dato inicial la duración total del proyecto y se anota en el extremo derecho del evento final.



2. Posteriormente se irán restando de dicho valor las duraciones de cada una de las actividades que terminan en ese evento de iniciación, respectivamente. Siendo estos valores su tiempo remoto de terminación.

3. Cuando dos o más actividades tengan el mismo evento de iniciación, debe considerarse el valor mínimo que arrojen los cálculos del paso 2. siendo este el tiempo remoto de terminación de las actividades anteriores [3].

La etapa final consiste en calcular el tiempo remoto de iniciación y el tiempo próximo de terminación de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\begin{array}{lcl} \text{TIEMPO PROXIMO DE TERMINACION} & = & \text{TIEMPO PROXIMO DE INICIACION + DURACION} \\ \text{TPT} & = & \text{TPI + Y} \\ \text{TIEMPO REMOTO DE INICIACION} & = & \text{TIEMPO REMOTO DE TERMINACION - DURACION} \\ \text{TRI} & = & \text{TRT - D} \end{array}$$

## **VII. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Países subdesarrollados tales como Nicaragua, requieren de mucha inversión para la planeación y ejecución de proyectos. La automatización juega un papel muy importante mejorar la eficiencia de los procesos de las industrias nicaragüenses. Por ello, para que haya un mejoramiento, se deberá de hacer un buen uso de técnicas y herramientas para la planeación de proyectos, ya que, si se hace una buena estimación, se podrán cumplir los objetivos en los proyectos planteados.

La automatización industrial es la monitorización y control de una maquinaria mediante el uso de tecnologías punteras a través de sensores, transmisores de campo, sistemas de control, software y recolección de datos. El objetivo es reducir costes y perfeccionar la producción sin la necesidad de intervención humana.

### **SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN [5]**

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas.

De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales. Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto.

Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la

salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.

No hay que olvidar que las industrias -tanto la manufacturera como la de procesos realizan grandes esfuerzos en la optimización del proceso. Algunas de ellas se centran en el aspecto de la calidad, mientras que otras se centran en el aspecto de los costos.

Estos factores -mejora de la calidad del producto y disminución de costes en la producción- son los condicionantes fundamentales en estas industrias, y en este sentido la automatización industrial contribuye decisivamente desde que a finales de la década de los años setenta apareció el microprocesador, núcleo de los controladores comerciales presentes en el mercado como los autómatas programables, los controles numéricos y los armarios de control de robots manipuladores industriales.

En cuanto a la expresión control de procesos industriales, ésta abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (feedback, feedforward, cascada, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), por citar algunos de los aspectos más relevantes. El control secuencial propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima en producto) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución dinámica del proceso controlado.

En la regulación continua, mediante la estructura de control clásica feedback, se aborda la acción de control proporcional, la acción de control derivativo o la acción de control integral, respecto al error (diferencia entre la consigna y la medida de la variable de salida del proceso) para conseguir así una regulación adecuada de la variable (temperatura, caudal, nivel, etc.).

Durante los casi ya treinta años de utilización de autómatas programables en la industria, conviene destacar su labor eficaz en el control secuencial de procesos. Una de las aplicaciones de mayor éxito es la combinación de autómatas programables con la tecnología electroneumática.

Esta combinación ha permitido ofrecer soluciones de automatización basadas en el posicionamiento, la orientación y el transporte de material dentro de la planta, y es de gran ayuda en las tareas realizadas por otros elementos, como por ejemplo el robot manipulador industrial.

Los reguladores industriales son dispositivos generados de forma clara para la regulación continua de variables. Durante años, el regulador analógico tradicional ha sido el elemento capaz de controlar procesos en los que se requiere el control de temperatura, el control de caudal, o el control de presión, todos ellos ejemplos típicos de la ingeniería química.

Con los avances en la electrónica digital y la informática industrial, los reguladores han pasado a ser controladores digitales autónomos, polivalentes desde el punto de vista de que se adaptan a un rango de tensiones y corrientes habituales en la automatización industrial, por lo que un mismo controlador está condicionado para la regulación de diversas variables. Además, hoy en día disponen de bloques lógicos de programación de forma que también pueden hacer frente al manejo de sistemas secuenciales.

El ordenador aparece en el control de procesos industriales a mediados de la década de los años cincuenta en la forma de control centralizado, una arquitectura en desuso hoy en día. Ya entonces el ordenador disponía de unas funciones, que siguen estando muy presentes en las industrias actuales: monitorización, vigilancia, control y supervisión [5].

## **VENTAJAS**

Automatizar procesos industriales de forma total o parcial genera múltiples beneficios a la producción, especialmente en aquellas grandes empresas que produzcan de forma constante. Los **beneficios más palpables de la automatización industrial** son:

- **Repetición constante de tareas:** gracias a la introducción de software y tecnologías que permiten la automatización de procesos industriales, la producción no genera errores de ningún tipo y no se detiene en ningún momento. Es decir, se produce las 24 horas del día. Este tipo de sistemas de automatización y control están especialmente indicados para aquellas fábricas con producción estacional en las que haya picos de producción continuada.
- **Mayor calidad de producción:** esta ventaja se interrelaciona con la anterior, ya que gracias a la automatización de procesos dentro de la Industria, el trabajo del operador y el desarrollo del proceso productivo se llevan a cabo sin errores ni tiempos muertos.
- **Reducción de costes:** implantar soluciones de automatización industrial en una empresa agiliza el trabajo, el tiempo y el dinero. Por lo tanto, es un proyecto que, más allá de la inversión que es necesario realizar, genera beneficios prácticamente desde el momento de su implantación.

El procesamiento de la información de toda la producción se hace mucho más rápido, con lo que la introducción de nuevos productos, sistemas o retoques es prácticamente instantánea.

- **Control de todos los procesos:** otra de las ventajas de introducir sensores en los dispositivos industriales es que permiten monitorizar en tiempo real todos los datos del proceso de producción. De esa forma, cualquier anomalía que sea produzca se puede detectar prácticamente al instante y de forma efectiva para solucionarse.
- **Reparación remota:** la automatización y control industrial también supone una mayor agilización en las tareas de mantenimiento para las grandes empresas. Sobre todo, aquellas que tengan diferentes sedes en otros países, ya que, con los dispositivos de automatización industrial y control en tiempo real, se pueden detectar los errores de forma instantánea para corregirlos incluso de forma remota.

- **Mayor seguridad para los empleados:** automatizar procesos industriales supone una mayor seguridad y comodidad para los trabajadores. Se acabó el cargar con grandes pesos, soportar temperaturas elevadas o gestionar de forma directa productos altamente peligrosos (relacionados con la química o la radioactividad).
- **Uso eficiente de la energía y la materia prima** utilizada para el producto, al controlar minuciosamente todo el proceso productivo.
- **Producción flexible y escalable** dependiendo de las necesidades del mercado.

## **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLCs) [6].**

Hasta no hace mucho tiempo el control de procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relees. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas.

Además cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico. En la actualidad no se puede entender un proceso complejo de alto nivel desarrollado por técnicas cableadas. El ordenador y los Controladores Lógicos Programables han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada.

El Controlador Lógico Programable (PLC) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por

una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.)

Los PLC se introdujeron por primera vez en la industria en 1960 aproximadamente. La razón principal de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relees y contactores. Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller) a un gran fabricante de coches. Otras compañías propusieron a la vez esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8. El MODICON 084 (Scheider) resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente.

El problema de los relés era que cuando los requerimientos de producción cambiaban también lo hacía el sistema de control. Esto comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada se requería un estricto mantenimiento planificado.

Por otra parte, a veces se debían realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento. Los "nuevos controladores" debían ser fácilmente programables por ingenieros de planta o personal de mantenimiento. El tiempo de vida debía ser largo y los cambios en el programa tenían que realizarse de forma sencilla. Finalmente se imponía que trabajaran sin problemas en entornos industriales adversos.

La solución fue el empleo de una técnica de programación familiar y reemplazar los relés mecánicos por relés de estado sólido. A mediados de los 70 las tecnologías dominantes de los PLC eran máquinas de estado secuencial y CPU basadas en desplazamiento de bit. Los microprocesadores convencionales cedieron la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC. Por cada modelo de microprocesador había un modelo de PLC basado en el mismo. Las habilidades de comunicación comenzaron a aparecer en 1973 aproximadamente. El primer sistema fue el bus Modicon (Modbus).

El PLC podía ahora dialogar con otros PLC y en conjunto podían estar aislados de las máquinas que controlaban. También podían enviar y recibir señales de tensión variables, entrando en el mundo analógico.

Los 90 han mostrado una gradual reducción en el número de nuevos protocolos, y en la modernización de las capas físicas de los protocolos más populares que sobrevivieron a los 80. El último estándar (IEC 1131-3) intenta unificar el sistema de programación de todos los PLC en un único estándar internacional. Ahora disponemos de PLC's que pueden ser programados en diagramas de bloques, lista de instrucciones y texto estructurado al mismo tiempo.

Los PC están comenzando a reemplazar al PLC en algunas aplicaciones, incluso la compañía que introdujo el Modicon 084 ha cambiado al control basado en PC. Por lo cual, no sería de extrañar que en un futuro no muy lejano el PLC desaparezca frente al cada vez más potente PC, debido a las posibilidades que los ordenadores pueden proporcionar

Entre las principales ventajas tenemos: Menor tiempo de elaboración de proyectos. debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes. Mínimo espacio de ocupación. Menor costo de mano de obra de la instalación Mantenimiento económico. Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC Menor tiempo de puesta en funcionamiento.

Si el PLC queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción. Entre los inconvenientes podemos citar el Adiestramiento de técnicos y su costo. Al día de hoy estos inconvenientes se van haciendo cada vez menores, ya que todos los PLC comienzan a ser más sencillos de programar, algunos se los programa con símbolos.

En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que hay Controladores Lógicos Programables para todas las necesidades y a precios ajustados. Campos de aplicación El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy



extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como: Espacio reducido. Procesos de producción periódicamente cambiantes. Procesos secuenciales. Maquinaria de procesos variables. Instalaciones de procesos complejos y amplios.

### **Modo de Funcionamiento**

Los Controladores Lógicos Programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómeta reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias.

Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso. La secuencia básica de operación del autómeta se puede dividir en tres fases principales: Lectura de señales desde la interfaz de entradas. Procesado del programa para obtención de las señales de control. Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen entradas).

A esta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida.

Ciclo de funcionamiento El funcionamiento del Controlador Lógico Programable es, salvo el proceso inicial que sigue a un Reset, de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómata esté bajo tensión.

El ciclo de funcionamiento se divide en dos partes llamados Proceso Inicial y Ciclo de Operación. Proceso inicial, antes de entrar en el ciclo de operación el autómata realiza una serie de acciones comunes, que tratan fundamentalmente de inicializar los estados del mismo y chequear el hardware. Estas rutinas de chequeo, incluidas en el programa monitor ROM, comprueban:

- El bus de conexiones de las unidades de E/S.
- El nivel de la batería, si esta existe.
- La conexión de las memorias internas del sistema.
- El módulo de memoria exterior conectado, si existe. Si se encontrara algún error en el chequeo, se activaría el LED de error y quedaría registrado el código del error.
- Comprobadas las conexiones, se inicializan las variables internas: Se ponen a OFF las posiciones de memoria interna (excepto las mantenidas o protegidas contra pérdidas de tensión).
- Se borran todas las posiciones de memoria imagen E/S. Se borran todos los contadores y temporizadores (excepto los mantenidos o protegidos contra pérdidas de tensión).
- Transcurrido el Proceso Inicial y si no han aparecido errores el autómata entra en el Ciclo de Operación.

### **Ciclo de operación:**

Este ciclo puede considerarse dividido en tres bloques:

Proceso Común Ejecución del programa Servicio a periféricos Proceso común:

En este primer bloque se realizan los chequeos cíclicos de conexiones y de memoria de programa, protegiendo el sistema contra: Errores de hardware (conexiones E/S, ausencia de memoria de programa, etc).

Errores de sintaxis (programa imposible de ejecutar). El chequeo cíclico de conexiones comprueba los siguientes puntos: Niveles de tensión de alimentación Estado de la batería si existe. Buses de conexión con las interfaces El chequeo de la memoria de programa comprueba la integridad de la misma y los posibles errores de sintaxis y gramática: Mantenimiento de los datos, comprobados en el "checksum". Existencia de la instrucción END de fin de programa Estructura de saltos y anidamiento de bloque correctas Códigos de instrucciones correctas.

Ejecución del programa: En este segundo bloque se consultan los estados de las entradas y de las salidas y se elaboran las órdenes de mando o de salida a partir de ellos. El tiempo de ejecución de este bloque de operaciones es la suma del: Tiempo de acceso a interfaces de E/S. Tiempo de escrutación de programa Y a su vez esto depende, respectivamente de:

- Número y ubicación de las interfaces de E/S.
- Longitud del programa y tipo de CPU que lo procesa

### **Servicio a periféricos:**

Este tercer y último bloque es únicamente atendido si hay pendiente algún intercambio con el exterior. En caso de haberlo, la CPU le dedica un tiempo limitado, de 1 a 2 ms, en atender el intercambio de datos. Si este tiempo no fuera suficiente, el servicio queda interrumpido hasta el siguiente ciclo.

### **Tiempo de ejecución y control en tiempo real**

El tiempo total que el Controlador Lógico Programable emplea para realizar un ciclo de operación se llama tiempo de ejecución de ciclo de operación o más sencillamente tiempo de ciclo "Scan time". Dicho tiempo depende de: El número de E/S involucradas. La longitud del programa usuario.

### **Estructura Externa:**

El término estructura externa o configuración externa de un Controlador Lógico programable industrial se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido.

Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado:

- Estructura compacta Estructura.
- Semimodular. (Estructura Americana).
- Estructura modular. (Estructura Europea).

### **Estructura compacta:**

Este tipo de Controlador Lógico Programable se distingue por presentar en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc. Son los PLC de gama baja o nanoautómatas los que suelen tener una estructura compacta. Su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

### **Estructura semimodular:**

Se caracteriza por separar las E/S del resto del Controlador Lógico Programable, de tal forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación y separadamente las unidades de E/S . Son los Controlador Lógico Programable de gama media los que suelen tener una estructura semimodular (Americana).

### **Estructura modular:**

Su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por riel DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde van alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen. Son los PLC de gama alta los que suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución.

### **Unidad de Programación:**

Es el conjunto de medios, hardware y software mediante los cuales el programador introduce y depura sobre las secuencias de instrucciones (en uno u otro lenguaje) que constituyen el programa a ejecutar. Esta puede estar constituida por un teclado pequeño adosable al controlador, donde cada tecla responderá a un elemento del circuito/programa a desarrollar.

### **Fuente de Alimentación:**

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110 / 220 Vca. En cualquier caso, es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc. La fuente de alimentación del Controlador Lógico Programable puede incorporar una batería de reserva, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, o cuando falla la alimentación o se apaga el Controlador Lógico Programable.

Unidad Central de Proceso La CPU (Central Processing Unit) es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las

entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas.

### **Procesador:**

Está constituido por el microprocesador, el reloj (generador de onda cuadrada) y algún chip auxiliar. El microprocesador es un circuito integrado (chip), que realiza una gran cantidad de operaciones, que podemos agrupar en:

- Operaciones de tipo lógico.
- Operaciones de tipo aritmético.
- Operación de lectura y modificación de datos.
- Operaciones de entrada – salida.
- Operaciones de control de la transferencia de la información dentro del autómata.

Para que el microprocesador pueda realizar todas estas operaciones está dotado de unos circuitos internos que son los siguientes:

- Circuitos de la unidad aritmética y lógica o ALU: Es la parte donde se realizan los cálculos y las decisiones lógicas para controlar el autómata.
- Circuitos de la unidad de control (UC) o Decodificador de instrucciones: Decodifica las instrucciones leídas en memoria y se generan las señales de control.
- Acumulador: Es la encargada de almacenar el resultado de la última operación realizada por el ALU.
- Flags: o indicadores de resultado, que pueden ser consultados por el programa.
- Contador de programa: Encargada de la lectura de las instrucciones de usuario.
- Bus (interno): No son circuitos en sí, sino zonas conductoras en paralelo que transmiten datos, direcciones, instrucciones y señales de control entre las diferentes partes del Controlador Lógico Programable.

### **Memoria monitor del sistema:**

Es una memoria de tipo ROM, Lectura y escritura en las interfaces de E/S. operativo del autómata contiene las siguientes rutinas, incluidas por el fabricante.

- Inicialización tras puesta en tensión o reset.
- Rutinas de test y de respuesta a error de funcionamiento.
- Intercambio de información con unidades exteriores. Lectura y escritura en las interfaces de E/S.
- Funciones básicas de la CPU.

En la memoria ROM del sistema, el fabricante ha grabado una serie de programas ejecutivos, software del sistema y es a estos programas a los que accederá el procesador para realizar las funciones.

El software del sistema de cualquier Controlador Lógico Programable consta de una serie de funciones básicas que realiza en determinados tiempos de cada ciclo.

En general cada Controlador Lógico Programable contiene y realiza las siguientes funciones:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario, que no exceda de un determinado tiempo máximo. A esta función se le denomina Watchdog.
- Ejecutar el Programa del usuario.

### **Memorias:**

La memoria es el almacén donde el Controlador Lógico Programable guarda todo cuanto necesita para ejecutar la tarea de control.

- Datos Del proceso.
- Señales de planta, entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.

- Datos alfanuméricos y constantes.
- Datos de control.
- Instrucciones de usuario (programa).
- Configuración Controlador Lógico Programable (modo de funcionamiento, número de e/s conectadas, ...)

Existen varios tipos de memorias:

- RAM. Memoria de lectura y escritura.
- ROM. Memoria de solo lectura, no reprogramable.
- EPROM. Memoria de solo lectura, reprogramables con borrado por ultravioletas.
- EEPROM. Memoria de solo lectura, alterables por medios eléctricos.

La memoria RAM se utiliza principalmente como memoria interna, y únicamente como memoria de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería exterior. La memoria ROM se utiliza para almacenar el programa monitor del sistema como hemos visto en el apartado dedicado a la CPU.

Las memorias EPROM se utilizan para almacenar el programa de usuario, una vez que ha sido convenientemente depurada.

Las memorias EEPROM se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez más frecuente el uso de combinaciones RAM + EEPROM (NOVRAM), utilizando estas últimas como memorias de seguridad que salvan el contenido de las RAM. Una vez reanudada la alimentación, el contenido de la EEPROM se vuelca sobre la RAM. Las soluciones de este tipo están sustituyendo a las clásicas RAM + batería puesto que presentan muchos menos problemas.

### **Memoria Interna:**

En un Controlador Lógico Programable, la memoria interna es aquella que almacena el estado de las variables que maneja, entradas, salidas, contadores, relees internos, señales de estado, etc. Esta memoria interna se encuentra dividida en varias áreas, cada



una de ellas con un cometido y características distintas. La clasificación de la memoria interna no se realiza atendiendo a sus características de lectura y escritura, sino por el tipo de variables que almacena y el número de bits que ocupa la variable. Así, la memoria interna del Controlador Lógico Programable queda clasificada en las siguientes áreas. Área de imágenes de entradas/salidas y Área interna (IR).

### **Memoria de Programa:**

La memoria de programa, normalmente externa y enchufable a la CPU mediante casete de memoria, almacena el programa escrito por el usuario para su aplicación. Cada instrucción del usuario ocupa un paso o dirección del programa.

Las memorias de programa o memorias de usuario son siempre de tipo permanente RAM + batería o EPROM / EEPROM. Por lo general la mayoría de los fabricantes de autómatas ofrecen la posibilidad de utilizar memorias RAM con batería para la fase de desarrollo y depuración de los programas, y de pasar estos a memorias no volátiles EPROM o EEPROM una vez finalizada esta fase.

La ejecución del programa en el módulo es siempre prioritaria, de forma que si se da tensión al autómata con un módulo conectado, la CPU ejecuta su programa y no el contenido en memoria RAM interna.

### **Interfaces:**

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un dialogo entre operador máquina junto con una comunicación entre la máquina y el Controlador Lógico Programable, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.

Todas las señales provenientes del campo son informadas a la CPU, luego de ser tomadas por los captadores de entradas, y a su vez, las órdenes generadas por la CPU son

comunicadas a los elementos del proceso bajo control por medio de las interfases de salida.

Los Controladores Lógicos Programables son capaces de manejar tensiones y corrientes de nivel industrial, gracias a que disponen un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que les permite conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso.

En los controladores más sencillos, las interfases de entrada se encargan de convertir la tensión o la corriente que reciben de los sensores, límites de carrera, pulsadores, llaves, etc., en niveles apropiados para la operación de la CPU.

De la misma manera las interfases de salida permiten partiendo de las señales de baja tensión originadas en la CPU, comandar Elementos y Equipos Electricos contactores, solenoides de válvulas, arrancadores de motores, valiéndose de diacs, triacs, reles etc. Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de 1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente.

Los interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta, que son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off. Un PLC puede utilizar 24V de corriente continua en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off. Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas.

A medida que la complejidad de los PLC aumenta, es necesario contar con otro tipo de interfaces que puedan interpretar señales analógicas provenientes del proceso y emitir las como salidas.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits

disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas.

Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. A medida que los requerimientos de control se hacen más complicados, aparecen los sistemas inteligentes, periféricos cuentan con un microprocesador propio, que descargan en parte el trabajo de la CPU, para hacer más rápida la ejecución del programa del usuario. Estas interfaces inteligentes pueden manipular datos, resolver ecuaciones aritméticas, comparaciones, conteos de alta velocidad.

De entre todos los tipos de interfaces que existen, las interfaces específicas permiten la conexión con elementos muy concretos del proceso de automatización. Se pueden distinguir entre ellas tres grupos bien diferenciados:

- Entradas / salidas especiales.
- Entradas / salidas inteligentes.
- Procesadores periféricos inteligentes.

Las interfaces especiales del primer grupo se caracterizan por no influir en las variables de estado del proceso de automatización. Únicamente se encargan de adecuar las E/S, para que puedan ser inteligibles por la CPU, si son entradas, o para que puedan ser interpretadas correctamente por actuadores (motores, cilindros, etc.), en el caso de las salidas.

Las del segundo grupo admiten múltiples modos de configuración, por medio de unas combinaciones binarias situadas en la misma tarjeta. De esta forma se descarga de trabajo a la unidad central, con las ventajas que conlleva. Los procesadores periféricos inteligentes, son módulos que incluyen su propio procesador, memorias y puntos auxiliares de entrada / salida. Estos procesadores contienen en origen un programa especializado en la ejecución de una tarea concreta, a la que le basta conocer los puntos

de consigna y los parámetros de aplicación para ejecutar, de forma autónoma e independiente de la CPU principal, el programa de control.

### **Entradas – Salidas:**

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores. Hay dos tipos de entradas:

- Entradas digitales.
- Entradas analógicas.

La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas, relees... aquí también existen unos interfaces de adaptación a las salidas de protección de circuitos internos.

Hay dos tipos de salidas:

- Salidas analógicas.
- Salidas digitales.

### **Entradas y Salidas Discretas:**

Estas interfaces tienen la simple función de informar a la CPU, de la presencia o ausencia de señal, tensión o corriente, en un circuito, apertura o cierre de un contacto, pulsador, límite de carrera, etc.

En el caso de las salidas estas conectan o desconectan al circuito de actuación de un solenoide, contactor, lámpara, etc. Las interfaces discretas abarcan un rango muy amplio de opciones de operación. Un contacto externo al controlador puede estar conectado a distintos voltajes, según la máquina o proceso lo mismo para otro tipo de captor.

Existen entonces interfaces para corriente alterna, corriente continua y a su vez para distintos niveles y tipos de tensiones que van desde los cinco voltios hasta niveles industriales.

Las interfaces de entrada-salida suelen estar construidas de forma de módulos que se alojan en bases de montaje, controladores modulares, o bien formando parte del controlador, compactos.

Tanto las entradas como las salidas pueden contener un borne común, para varias de ellas o bien estar dispuestas en forma individual aisladas entre sí. Los módulos de entrada digitales permiten conectar al Controlador Lógico Programable de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores, llaves, etc.

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo, cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0" El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas:

- Protección contra sobre tensiones.
- Filtrado.
- Puesta en forma de la onda.
- Aislamiento galvánico o por opto acoplador.

### **Las entradas digitales pueden ser discretas o de palabras:**

Entradas Discretas Dentro de cada interfase de entrada discreta, existe un elemento rectificador y un acondicionador de señal que elimina los ruidos de líneas y rebates de contactos.

Luego un tercer elemento detecta el umbral de tensión de activación y finalmente a través de una optoaislación se conecta a la lógica de la CPU. Esta aislación es para asegurar el funcionamiento confiable del controlador.

El último bloque de una entrada es el que comunica a la lógica del sistema un uno o un cero según el nivel de tensión de entrada. Esto es siempre complementado por un indicador de nivel del estado de entrada constituido generalmente por un LED.

El estado activado – desactivado de cada entrada se guarda en tablas de memorias, memorias imagen o registro de imagen, para que una vez por cada barrido del programa del usuario informen su estado a la CPU y luego se vuelven a actualizar.

Estas interfaces tienen la simple función de informar a la CPU del estado de presencia o ausencia de tensión en un circuito (cierre o apertura de un Contactor, pulsador, etc.). Las interfaces discretas abarcan un amplio rango de opciones, un contacto externo puede estar conectado a distintos voltajes, según la máquina o el proceso. Existen interfaces para corriente continua o alterna, y a su vez para distintos niveles de tensiones. Las interfaces están construidas de forma de módulos que se alojan en bases de montaje, estructura semimodular o modular, o formando parte del conjunto estructura compacta.

### **Salidas Discretas:**

Un módulo de salida digital permite al Consolador Lógico Programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relee interno del autómatas en el caso de módulos de salidas a relee. En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relees internos al módulo. Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma.
- Aislamiento.

- Circuito de mando (relee interno).
- Protección electrónica.
- Tratamiento cortocircuitos

Las interfaces de salida discretas son similares, la señal de activación originada por la CPU, es pasada por una optoaislación, seguida por un circuito que se encarga de disparar el elemento final de salida, reles, triacs, bobina, transistor de potencia, etc., existe además un elemento de protección contra sobrecargas o cortocircuitos.

La detección del nivel de umbral de entrada causa una demora que varía según el fabricante y se estima en un valor promedio de 10 milisegundos, esta demora no es igual cuando se trata de conexión que de desconexión, siendo las salidas discretas que trabajan con corriente continua son más veloces que las de corriente alterna.

También, como en las entradas, el estado activado – desactivado de cada salida se guarda en tablas de memorias imagen o en registros de imagen, para que una vez por cada barrido del programa del usuario informen su estado a la CPU y luego se vuelven a actualizar.

### **Entradas de Palabras:**

Las interfaces de entradas de palabras permiten conectar elementos cuyas señales son palabras formadas por múltiples bits en paralelos, como por ejemplo llaves selectoras rotativas binarias. Las palabras pueden estar formadas por cuatro u ocho canales de entrada, cada canal permite conectar varias llaves del tipo binario, este tipo de entrada cuenta con un borne para activarlas de forma multiplexada de uno en uno en forma secuencial. Las entradas filtradas y luego en forma sincronizada se almacena en una memoria intermedia y permanecen allí hasta ser leídas, cuando la actualización de cada canal no es sincrónico con el barrido de la CPU, existe un sistema de protección para que el canal no se actualice en el momento en que esta leído.

### **Salidas de Palabras:**

Las salidas de este tipo activan grupos de 8 o 16 bits, que forman palabras binarias. Se usan para manejar elementos como display de siete segmentos y otros elementos del proceso capaz de manejar este tipo de señales. Generalmente cuentan con una única bornera de 8/16 bornes y de una señal para sincronizar la lectura de varios canales por esa misma bornera. Las salidas son óptico aisladas y poseen un sistema para evitar la actualización de los canales mientras se están siendo leídos.

### **Entradas analógicas:**

Los módulos de entrada analógicas permiten que los Controlador Lógico Programable trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión, el caudal, tensión o intensidad, etc. Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del Controlador Lógico Programable. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabajar con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

### **Salidas analógicas:**

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el Controlador Lógico Programable solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura... permitiendo al Controlador Lógico Programable realiza funciones de regulación y control de procesos continuos.



El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas: Aislamiento galvánico  
Conversión D/A Circuitos de amplificación y adaptación Protección electrónica de la salida Como hemos visto las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales. Por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran módulos de E/S especiales.

Los tamaños de las palabras son de 10 bits o menores, esa longitud de palabra da una resolución de una parte en mil veinticuatro ( $1/1024$ ) que corresponde aproximadamente 0,01 volt si se trabaja entre 0 y 10 volt. Los módulos de este tipo pueden manejar entre cuatro u ocho salidas, tiene circuitos de aislación antes de entrar al conversor digital/analógico, control de sincronismo y control para evitar choques entre la lectura y escritura de cada una de las salidas de los canales.

### **Módulos de Funciones Especiales:**

Todas las interfaces o adaptadores descritos hasta ahora tienen la tarea de convertir señales de entrada en valores aceptables para la CPU, o convertir las señales entregadas por la CPU en valores convenientes para los actuadores.

Cuando los PLC deben controlar procesos o máquinas que requieren tareas más complejas, como por ejemplo, resolución de ecuaciones que requieren aritmética avanzada, emisión de informes en códigos ASCII, control de velocidades superiores al barrido del equipo, repuestas a señales que no pueden aceptar demoras, control de lazos PID, estas tipo de tareas pueden resultar limitaciones que estén dadas por la falta de capacidad de los controladores para atender en un tiempo razonable esas operaciones sin dejar de lado la resolución de la lógica de contacto.

Para ello se diseñaron módulos de entrada/salida con concepto de modulo inteligente de funciones especiales, este tiene la capacidad propia para el procesamiento de datos y no influyen en el tiempo de barrido del contador, por contar con su propio microprocesador

y un barrido asincrónico con respecto a la CPU, pero con la capacidad de tomar, modificar y escribir datos en la memoria.

#### Módulo de Entrada de Pulsos de Alta Velocidad:

Permite conectar al sistema dispositivos que producen trenes de pulsos demasiado rápidos para que el barrido del controlador, pueda reaccionar o efectuar conteos, ejemplo, caudalímetro, turbinas, tacómetros, etc.

Este tipo de módulos tiene entradas/salidas, por las que ingresan las señales de frecuencias hasta 100 Khz., y las salidas pueden adoptar resultados de conexión/desconexión de acuerdo al programa que el usuario carga en la memoria del módulo.

El programa consiste fundamentalmente comparar entre los valores reales de conteo, con los que el usuario prefijo, o pueden ser tomados de la memoria principal del PLC, cuando se alcanzan los valores prefijados, se activan las salidas del módulo y/o se actualizan los estados de la memoria del PLC. Cuando se usa un caudalímetro que envía pulsos, el módulo puede efectuar conteos de acuerdo a una unidad de tiempo, pulsos/segundos.

#### **Módulo de Control de Ejes:**

Este módulo tiene generalmente la función de controlar la posición punto a punto de servomotores en lazos cerrados, tienen la posibilidad de manejar el posicionamiento de varios ejes a la vez.

La tarea principal del módulo es el cómputo de velocidad y posición independientemente del barrido del PLC. Para ello el modulo, cuenta con su propia CPU y se programa con el lenguaje de alto nivel por medio de una PC o una terminal sin inteligencia. Además, estos módulos pueden almacenar distintos perfiles de funcionamiento en tablas que son consultadas desde el programa del usuario.

Este tipo de módulo cuenta con pórtricos de comunicación que pueden usarse para emitir reportes a una impresora o algún periférico en serie, centro de mecanización, maquinas, herramientas, robots de soldadura, etc.

### **Módulo de Entrada de Termocuplas:**

Proveen de alta precisión en las lecturas de termocuplas, usando resoluciones de hasta catorce bits, la señal que se le envía al PLC puede ser expresada en grados Celsius, grados Fahrenheit, o en milivolts. La calibración del módulo, ajuste de cero y rango se realizan de manera similar a los métodos de calibración de transmisores, estos ajustes dan la posibilidad de lograr una alta resolución en bajas temperaturas manteniendo el rango al máximo.

El módulo permite la conexión de varias termocuplas, que constituyen canales de entrada que se interpretan secuencial mente mediante un barrido propio del módulo. El tiempo aproximado para ocho canales es de 40 milisegundos, los canales que no se usen pueden ser deshabilitados para aumentar la velocidad de barrido.

### **Módulo de Entrada de Termo resistencias:**

Mediante la lectura de un valor de resistencia y su posterior conversión, este módulo es capaz de enviar señales a la CPU del PLC en varios formatos, grados Celsius, grados Fahrenheit, Ohm o valor numérico. El módulo posee una inteligencia necesaria para convertir el valor de resistencia leído en formato útil para el usuario sin el empleo de tablas de conversiones. Otra de las ventajas de este tipo de módulo son las compensaciones de la resistencia de cables y capacidad de detectar circuitos abiertos.

### **Modulo BASIC Programable:**

Cuando se necesitan cálculos complejos, estadística, etc. se puede utilizar este tipo de módulo, que no es más que una pequeña computadora con su propia CPU, y memorias que acepta programas escritos en lenguaje BASIC. El módulo posee una comunicación

directa con la CPU del PLC y otros pórtricos para poder conectar periféricos tales como terminales sin inteligencia, lectores de códigos de barra, impresoras, etc.

Con el uso del Basic se pueden hacer cálculos para resolver lazos de control PID, cuando el PLC no incluya como capacidad propia, el programa se almacena en RAM, soportadas por baterías, pero con la posibilidad de transferir en forma automática, datos a memorias que permanezcan inalterables ante falta de energía.

Otra de las aplicaciones es la de mantener en la memoria del módulo, una cantidad de recetas de distintos productos a elaborar, las cuales se pueden descargar a pedido del operador en el momento adecuado, modificando las posiciones de memoria requeridas por el PLC.

## **VIII. APLICACIÓN DEL METODO CPM-PERT PARA LA PLANEACIÓN DE UN PROYECTO EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Se presentará a continuación la aplicación del método CPM-PERT para la planeación de un proyecto en automatización industrial. Para su aplicación se procedió a partir de la siguiente metodología:

1. Se definieron las actividades en una tabla, donde se muestran las actividades antecedentes y consecuentes, tiempo esperado "Te", tiempo óptimo "O", la duración en día de las actividades y el costo por día (pendiente).
2. Se realizó la Red a tiempo esperado "Te", determinando la Ruta Crítica.
3. Se estableció el valor del Maximin que incluye todas las rutas, para posteriormente determinar la Red a tiempo "O" y el cálculo de los costos de la red.
4. Se definió la Red a Tiempo Intermedio, se obtuvo a partir del promedio entre la Red "Te" y la Red "O".
5. Posteriormente se concibió el modelo matemático que determine el costo para el intervalo que considere los límites de los días óptimo, intermedio y esperado.

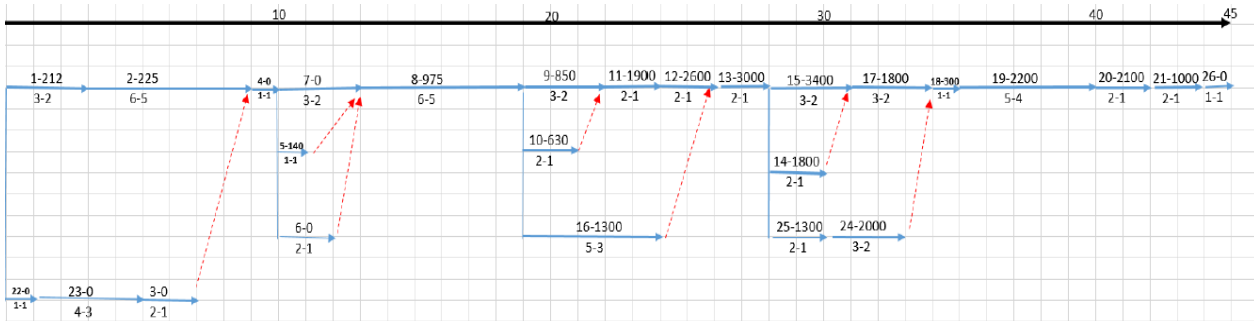
### **Paso 1.**

**A continuación, se presenta la tabla con las actividades para un proyecto de automatización industrial. El costo diario es de U\$ 231.**

N° Actividad	Antecedente	Consecuente	Te	"O"	Costo p/d (U\$)
0	-	1,22	-	-	-
1	0	2	3	2	212
2	1	4	6	5	225
3	23	-	2	1	0
4	2	5,6,7	1	1	0
5	4	-	1	1	140
6	4	-	2	1	0
7	4	8	3	2	0
8	7	9,10,16	6	5	975
9	8	11	3	2	850
10	8	-	2	1	630
11	9	12	2	1	1,900
12	11	13	2	1	2,600
13	12	14,15,25	2	1	3,000
14	13	-	2	1	1,800
15	13	17	3	2	3,400
16	8	-	5	3	1,300
17	15	18	3	2	1,800
18	17	18	1	1	300
19	18	20	5	4	2,200
20	19	21	2	1	2,100
21	20	26	2	1	1,000
22	0	23	1	1	0
23	22	3	4	3	0
24	25	-	3	2	2,000
25	13	24	2	1	1,300
26	21	-	1	1	0

## Paso 2.

### Red a tiempo esperado "Te"



Por tanto, tenemos los siguientes resultados:

$C_m = \text{U\$ } 9,500$

Costo diario = U\$ 231

Para los 45 días que se tiene previsto el desarrollo del proyecto, se incurre en que los costos totales son:

$CT \text{ 45 días} = \text{U\$ } 9,500 + (45 \times \text{U\$ } 231) = \text{U\$ } 19,985$

## Paso 3.

El cálculo del Maximin se deberá calcular incluyendo todas las rutas.

### Ruta A

Actividad	1	2	4	7	8	9	11	12	13	15	17	18	19	20	21	26		
Te	3	6	1	3	6	3	2	2	2	3	3	1	5	2	2	1	45	

"O"	2	5	1	2	5	2	1	1	1	2	2	1	4	1	1	1	32	Maximin
Tesp	2	5	1	2	5	2	1	1	1	2	2	1	4	1	1	1	13	

**Ruta B**

Actividad	22	23	3	
Te	1	4	2	7
"O"	1	3	1	5
Tesp	1	4	2	

**Ruta C**

Actividad	1	2	4	5	
Te	3	6	1	1	11
"O"	2	5	1	1	9
Tesp	2	5	1	1	

**Ruta D**

Actividad	1	2	4	6	
Te	3	6	1	2	12
"O"	2	5	1	1	9
Tesp	2	5	1	2	

**Ruta E**

Actividad	1	2	4	7	8	10	
Te	3	6	1	3	6	2	21
"O"	2	5	1	2	5	1	16
Tesp	2	5	1	2	5	2	



### Ruta F

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	16	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	5	24
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	3	8
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	5	

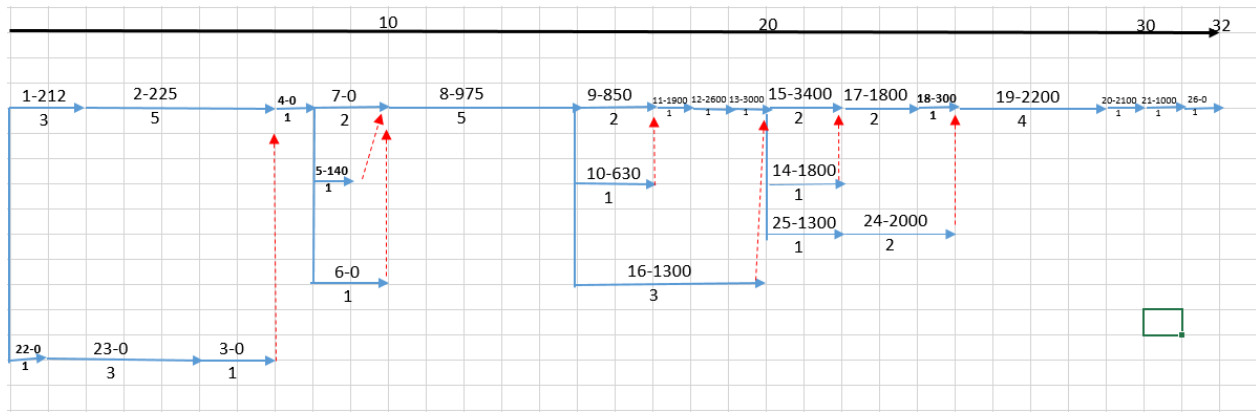
### Ruta G

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	14	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	3	2	2	2	2	30
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	21
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	2	

### Ruta H

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	25	24	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	3	2	2	2	2	3	33
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	2	23
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	3	32

### Red de tiempo "O"



Por tanto:

Costos por compresión = U\$28,592

Cm = U\$ 9,500

Entonces, los costos totales para 32 días son:

CT 32 días = U\$ 9,500 + (32 x U\$ 231) + U\$ 28,592 = U\$ 45,484

#### Paso 4. Red a Tiempo Intermedio

**Red a Tiempo Intermedio** =  $(Red\ Te + Red\ "O") / 2 = (45 + 32) / 2 = 77 / 2 = 38.5 = 39\text{días}$

#### Ruta A

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	15	17	18	19	20	21	26	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	3	2	2	2	3	3	1	5	2	2	1	45
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	2	2	1	4	1	1	1	39
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	2	2	2	3	3	1	5	2	1	1	6

### Ruta B

<b>Actividad</b>	22	23	3	
<b>Te</b>	1	4	2	7
<b>"O"</b>	1	3	1	5
<b>Tesp</b>	1	4	2	

### Ruta C

<b>Actividad</b>	1	2	4	5	
<b>Te</b>	3	6	1	1	11
<b>"O"</b>	2	5	1	1	9
<b>Tesp</b>	2	5	1	1	

### Ruta D

<b>Actividad</b>	1	2	4	6	
<b>Te</b>	3	6	1	2	12
<b>"O"</b>	2	5	1	1	9
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	

### Ruta E

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	10	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	2	21
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	1	16
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	

### Ruta F

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	16	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	5	24
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	3	18
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	5	

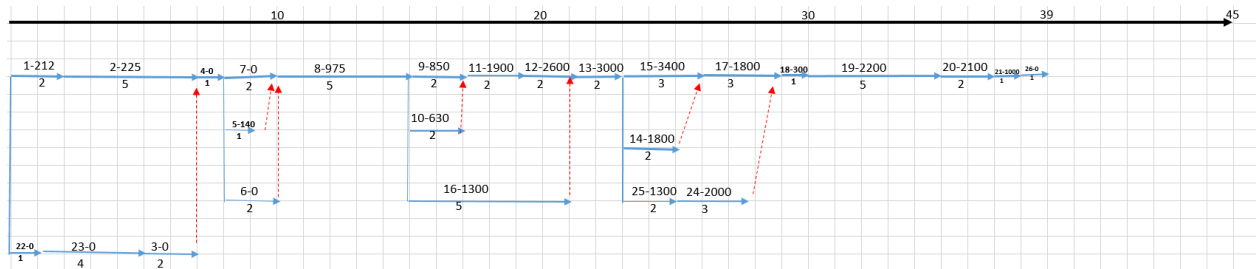
## Ruta G

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	14	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	3	2	2	2	2	30
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	21
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	2	

## Ruta H

<b>Actividad</b>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	25	24	
<b>Te</b>	3	6	1	3	6	3	2	2	2	2	3	33
<b>"O"</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	2	23
<b>Tesp</b>	2	5	1	2	5	2	1	1	1	1	3	32

Entonces, la red de tiempo intermedio es:



Cálculo del costo a tiempo intermedio:

Costo por día = U\$ 231

Cm = U\$ 9,500

Costo por compresión = U\$ 2,412

Entonces, el costo total para un tiempo intermedio es:

$$CT \text{ 39 días} = U\$9,500 + (39 \times U\$ 231) + U\$ 2,412$$

$$CT \text{ 39 días} = U\$ 20,921$$

### Paso 5.

### Modelo Matemático para Determinar los Costos

El modelo matemático tiene el comportamiento de una curva de la forma.

$$y = ax^2 + bx + c$$

El sistema de ecuaciones está conformado así.

$$\begin{aligned} 19895 &= a(45)^2 + b(45) + c \\ 45484 &= a(32)^2 + b(32) + c \\ 20921 &= a(39)^2 + b(39) + c \end{aligned}$$

Utilizando una plantilla en el programa Excel para la resolución del sistema de ecuaciones, se tiene:

INTERPOLACION CUADRÁTICA				
$X^2$	$X$	$C$	$D$	RESULTADOS
2025	45	1	19895	256.77
1024	32	1	45484	-21739.62
1521	39	1	20921	478220.00
La función es :				
$f(x)=(256.76)x^2 + (-21739.61)x + (478219.99)=0$				

Por tanto, el modelo matemático es:

$$y = 256.77x^2 - 21739.62x + 478220$$

Para determinar el costo mínimo, se tendrá que calcular el Maximin.

$$x = -\frac{b}{2a} = \frac{21739}{513.4} = 42.33 \text{ días}$$

Sustituyendo, tenemos.

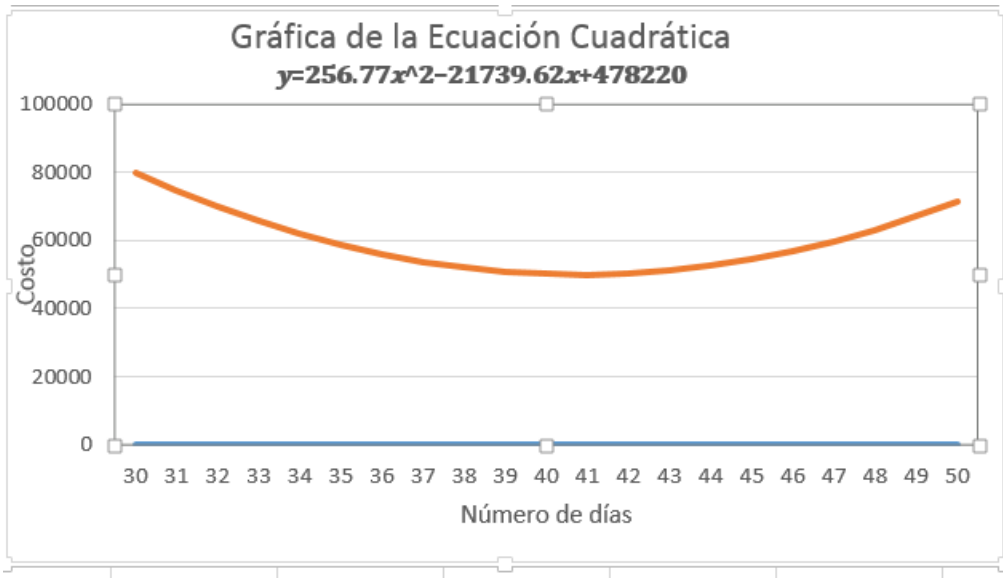
$$y = 256.77(42.33)^2 - 21739(42.33) + 478220$$

$$y = 460087.9066 - 920211.87 + 478220$$

Entonces, el costo mínimo es:

$$\text{Costo mínimo} = y = U\$ 18,096.0366$$

La gráfica es la siguiente:



## **IX. CONCLUSIONES**

Actualmente en la empresa xyz<sup>1</sup> no se cuenta con herramientas y/o técnicas para la planeación de proyectos de automatización industrial. Por tal razón hay variaciones en lo que respecta a las entregas de los proyectos a las diferentes industrias, por lo que se incurre en incrementos significativos en los costos. Lo que tiene un impacto negativo con el cumplimiento en tiempo y forma con los clientes, además que influye negativamente en lo que respecta a la rentabilidad del proyecto.

Se realizó un caso de estudio que sirva como guía estándar para la planeación de costos y tiempo en proyectos de automatización industrial, lo que contribuye significativamente a tener un mejor control de este tipo de proyectos de ingeniería, ya que mediante el monitoreo se obtendrá un impacto positivo en el mejoramiento de los procesos y actividades. Por tanto, la empresa logrará ser más efectiva y eficiente en lo que respecta al giro del negocio.

En este trabajo se aplicó el método CPM-PERT, que es una herramienta muy importante para la planeación de proyectos. Se determinaron tres redes (“Te”, “O” y Tiempo Intermedio”). Se procedió a determinar cuál actividad es más idónea a optimizarla en función del costo de la pendiente (pendiente mínima). Se definió un sistema de ecuaciones que al resolverse dio como resultados las variables del Modelo Matemático para este proyecto, a partir de dicho modelo se determinó el costo mínimo. De esta manera se podrá hacer en proyectos futuros estimaciones de tiempo y costos de manera rápida para evaluar la factibilidad que tengan los mismos.

---

<sup>1</sup> Se omite el nombre de la empresa debido al acuerdo de confidencialidad.



## X. BIBLIOGRAFÍA

[1] “Fundamentos de Investigación de Operaciones de CPM y PERT”. Abril 2004.  
Disponible en: [https://www.inf.utfsm.cl/~esaez/fio/s1\\_2004/apuntes/pert-2004-1.pdf](https://www.inf.utfsm.cl/~esaez/fio/s1_2004/apuntes/pert-2004-1.pdf)

[2] Carlos E. Vega. “Programación de Proyectos con CPM-PERT”. Escuela de Ingeniería en Energía. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Santa. Perú. 2008.  
Disponible en: [biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/Manual\\_de\\_PERTCPM.do](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/Manual_de_PERTCPM.do)

[3] Ruta Crítica. Disponible en: <https://erods.files.wordpress.com/2012/02/ruta-critica.pdf>

[4] Pimentel Luis. Introducción al Concepto de Planeación Estratégica. Septiembre 1999.

[5] Ponsa Pere. Granollers Antoni. “Diseño y Automatización Industrial”. Universidad Politécnica de Cataluña. Diseño Industrial.

Disponible en: <https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

[6] Elementos y Equipos Eléctricos. “Controlador Lógico Programable-PLC”.

Disponible en: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)

---