

**CONTROL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA USANDO TÉCNICA
DESCUBRIMIENTO DE PATRÓN (PATTERN DISCOVERY TECHNIQUE)**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
CONTROL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA USANDO TÉCNICA
DESCUBRIMIENTO DE PATRÓN (PATTERN DISCOVERY TECHNIQUE)**

**AUTOR:
DIEGO RAMIRO CRUZ ALVAREZ**

**DIRECTOR:
LEONY ORTIZ MATOS**

Quito, febrero 2017

Diego Ramiro Cruz Alvarez

**CONTROL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA USANDO
TÉCNICA DESCUBRIMIENTO DE PATRÓN (PATTERN DISCOVERY
TECHNIQUE)**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



Diego Ramiro Cruz Alvarez

Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica

Facultad de Ingenierías

Universidad Politécnica Salesiana

dcruz@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Leony Ortiz Matos

Ingeniero Eléctrico

Docente de la Universidad Politécnica Salesiana

Facultad de Ingenierías

lortizm@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

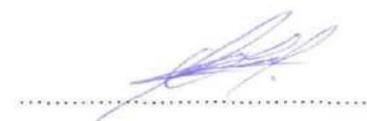
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Leony Ortiz Matos declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Control de Sistemas de Distribución Eléctrica usando Técnica Descubrimiento de Patrón (Pattern Discovery Technique)* realizado por Diego Ramiro Cruz Alvarez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2017



Leony Ortiz Matos

Cédula de identidad: 1754230389.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Diego Ramiro Cruz Alvarez con documento de identificación N° 1720352440, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Control de Sistemas de Distribución Eléctrica usando Técnica Descubrimiento de Patrón (Pattern Discovery Technique)”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Diego Ramiro Cruz Alvarez

Cédula: 1720352440

Fecha: Febrero 2017

ÍNDICE GENERAL.

Resumen.....	1
Abstract.	1
1. Introducción.....	2
2. Pattern discovery technique (técnica descubrimiento de patrón).	2
3. Funcionamiento de las S.V.M.	3
4. Estabilidad de tensión.	4
4.1. Estabilidad de tensión ante grandes disturbios.-	4
4.2. Estabilidad de tensión frente a pequeñas perturbaciones.-	5
4.3. Estabilidad de tensión de corto tiempo.-	5
4.4. Estabilidad de tensión a largo tiempo.-	5
5. D-STATCOM principio de funcionamiento.....	5
6. Formulación del problema.	6
7. Algoritmo matemático.	6
8. Caso de estudio.	7
9. Análisis de resultados.	8
10. Conclusiones.....	8
11. Futuros trabajos.	9
12. Referencias.	9
12.1 Matriz del estado del arte.	11

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Hiperplano de margen máximo.	3
Figura 2 Diagrama de bloques de un D-STATCOM.	5
Figura 3 Variables de funcionamiento D-STATCOM.	5
Figura 4 Estados de funcionamiento Inductivo y Capacitivo del controlador D-STATCOM.	6
Figura 5 Sistema de distribución para el caso de estudio.	7
Figura 6 Comportamiento del sistema frente a una caída de tensión.	8

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de funcionamiento del D-STATCOM.	5
Tabla 2 Estados de funcionamiento del D-STATCOM.	6
Tabla 3 Tabla matriz del estado del arte.	11
Tabla 4 Resumen e indicadores del estado del arte.	13
Tabla 5 Resumen para la formulación del problema.	13
Tabla 6 Solución para el análisis del problema.	13

CONTROL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA USANDO TÉCNICA DESCUBRIMIENTO DE PATRÓN (PATTERN DISCOVERY TECHNIQUE).

Resumen

Los sistemas de distribución son parte fundamental del ciclo de vida de la generación eléctrica, estos son los encargados de transportar el suministro eléctrico desde las subestaciones de transformación hasta el consumidor final o cliente, pasando por etapas de transformación que son realizadas por transformadores de potencia. Los sistemas de control de tensión son herramientas encargadas de regular los niveles de tensión en las barras críticas del sistema, permitiendo que el suministro eléctrico llegue al consumidor final y garantizando la seguridad, la calidad, y la confiabilidad, al menor costo posible. Por el antes expuesto, y la importancia de poder controlar de forma óptima los perfiles de tensión, de manera que se garantice de calidad dentro de las normas establecidas, se propone el diseño a través de una metodología que permita el rediseño de controladores on-line. La estrategia de control presentada en el artículo permite la acción de reconfiguración para un controlador PI en un D-STATCOM mediante el uso de técnicas de Descubrimiento de patrones y las Maquinas de Soporte Vectorial S.V.M. (Suport Vector Machine). Además el algoritmo propuesto proporciona al sistema de compensación una acción rápida, y estable ante perturbaciones y fallas tolerables para el Sistema de Distribución Eléctrica.

Palabras Clave: Kernel, Máquina de Soporte Vectorial (S.V.M.), Sistema de Distribución, Estabilidad de tensión.

Abstract.

Distribution systems are a fundamental part of the electricity generation lifecycle, which are responsible for transporting the power supply from the transformation substations to the final consumer or customer, through transformation stages that are performed by power transformers. Voltage control systems are tools in charge of regulating voltage levels in the critical buses of the system, allowing the power supply to reach the final consumer and guaranteeing safety, quality and reliability at the lowest possible cost. For the above, and the importance of being able to optimally control the voltage profiles, so as to guarantee quality within the established standards, the design is proposed through a methodology that allows the redesign of on-line controllers. The control strategy presented in the article allows the reconfiguration action for a PI controller in a D-STATCOM by using Pattern Discovery techniques and the Vector Support Machines S.V.M. (Suport Vector Machine). In addition, the proposed algorithm provides the compensation system with fast, stable action against tolerable disturbances and failures for the Electrical Distribution System.

Keywords: Distribution System, D-STATCOM, hiperplano, Kernel, Suport Vector Machine.

1. Introducción.

Los sistemas de distribución, con el pasar del tiempo han ido evolucionando, y cada vez son más inteligentes, cuando se trata de controlar variaciones de tensión, y en las últimas décadas se han desarrollado herramientas y estrategias para que los sistemas de distribución tengan un óptimo desempeño.

Esta visión abre nuevos rumbos para la creación de sistemas más eficientes que permiten el control inteligente de distribución de energía, con respecto a perturbaciones (niveles altos o bajos de tensión) eléctrica no planeados [1].

Las comercializadoras encargadas de distribuir el suministro eléctrico, son las que tienen que velar que el servicio sea de calidad es decir que no existan variaciones de tensión fuera de algún fenómeno [2] [3]. De la misma manera la generación de información es proporcional y se ha convertido compleja y difícil de manejar, por las direcciones encargadas de la planificación operativa del sistema. La información o datos generados por los Sistemas de Distribución puede ser almacenados por sistemas computarizados como SCADAS, con la finalidad de que puedan ser debidamente almacenados, y dar origen a la creación de bases de datos, para que esta información puedan ser analizada con nuevas técnicas y poder obtener información relevante, del cual solo se conoce sus atributos (variables observadas) [4], esto da origen a un problema de clasificación, es por esta razón que una de las tareas más importantes en una minería de datos es la clasificación de eventos.

La clasificación es un proceso por el cual una base de datos es dividida en varias clases basadas en información relevante que posee cada dato. Cada clase se la identifica con un nombre específico (etiqueta de clase C_j) [5]. Por lo general, cada dato de las clases es ingresado a la base de datos, es como un vector que puede ser de dos tipos discreto o continuo [5][6]. La clasificación de datos se trata de separar las diferentes clases que se tengan de una base de datos o de un grupo de datos de entrenamiento, de donde se estima la función de densidad $F_{(x_i, c_j)}$. Luego se calcula

la probabilidad de que un elemento x de un grupo de prueba pertenezca a la clase c_j , bajo la supervisión del grupo de entrenamiento.

Las Maquinas de Soporte Vectorial o S.V.M. (Support Vector Machine) son comúnmente usadas por la comunidad científica como una de las herramientas para la clasificación de datos [7]. Es por eso que esta técnica nos permite reducir las fallas cuando se clasifican los datos y de esta manera obtener un margen de separación mayor entre clases, lo que hace que la teoría de la clasificación sea más efectiva [8], además. En el presente artículo se propone la técnica de las S.V.M. para identificar patrones, que para nuestro caso sería identificar tipos de perturbaciones (incrementos o caídas de tensión), y según el resultado de esta clasificación, se tomará decisiones sobre nuestro controlador D-STATCOM para que actúe ante dichas perturbaciones, optimizando tiempos de estabilidad de nuestro sistema.

2. Pattern discovery technique (técnica descubrimiento de patrón).

Para lograr la más rápida identificación de las causas de interrupción en un sistema de distribución de energía eléctrica, es esencial el uso de métodos computacionales avanzados, agrupados bajo el término Técnicas de Descubrimiento de Patrones [9][10]. Como se señalaba anteriormente, la identificación de perturbaciones puede entenderse como una tarea de clasificación en la que el operador de la línea trata de categorizar dicha falla de acuerdo a ciertas clases predefinidas por sistemas expertos. Los problemas de clasificación típicos extraen un modelo de un conjunto de datos de entrenamiento de donde se diseñan las clases para categorizar futuros datos. Entre los métodos de clasificación más populares para analizar sistemas de distribución se encuentran: DT (*Decision Tree*), ANN (*Artificial Neural Network*), S.V.M. y el LR (*Logistic Regression*) [11].

Un LR es un modelo paramétrico utilizado para analizar problemas con variables dependientes dicotómicas [12], mientras que

la ANN es un método no paramétrico utilizado ampliamente no sólo en el análisis de sistemas de potencia sino en muchas otras áreas de investigación y en diversas aplicaciones [13]. Por otra parte, el DT ha ganado especial interés porque provee información útil para diseñar las acciones de contingencia para modificar convenientemente y con anticipación, las condiciones inseguras en una línea de transmisión. La mayoría de trabajos académicos recientes en DSA (*Dynamic Security Assessment*), aplican DT debido a que las variables consideradas son predictores más eficientes para detectar problemas de seguridad del SP. DT es una herramienta gráfica binaria, en forma de árbol. Hace uso de algoritmos conocidos como CART (*Classification and Regression Trees, CT o RT*) [3].

El método de las S.V.M. (Support Vector Machine) o Máquina de Soporte Vectorial es una de técnicas que se ha popularizado en los últimos años en el tema de la clasificación de grandes magnitudes de datos o información, la teoría de las S.V.M. ha sido demostradas en varias ocasiones que pueden ser más eficientes que las máquinas de aprendizaje tradicional como las redes neuronales, y han logrado popularidad como una gran herramienta para solucionar problemas con grandes cantidades de datos.

El objetivo principal de una S.V.M. es ubicar los datos de entrada en un plano de dimensiones mayor, a cada datos se le asigna una característica o etiqueta para que en el momento de mapearlos estos se ubiquen de la mejor manera, luego se genera un hiperplano el cual se encargara de separar las dos clases de nuestra base de datos. El hiperplano se genera entre dos puntos más cercanos de las dos clases de datos [4].

3. Funcionamiento de las S.V.M.

Las S.V.M. se basan en la teoría del vector de apoyo para generar una mejor separación de daos en el hiperplano, haciendo que los márgenes de separación entre clases sean adecuados para cada caso de estudio[14]. Este hiperplano es el encargado de separar los

datos de entrenamiento que son divididos en dos clases, que tienen su propia identificación o etiqueta $\epsilon\{+1, -1\}$ de tal manera que la distancia entre el punto más cercano de cualquiera de las dos clases, sea el máximo con relación al hiperplano, con la intención de forzar a la generalización de la máquina de aprendizaje [15][4].

Si el caso de estudio se trata de separar dos clases de datos del conjunto de vectores de entrenamiento se describe como se muestra a continuación:

$$S = \{(X^1, Y^1), (X^2, Y^2), \dots, (X^n, Y^n)\}$$

$$X \in \mathbb{R}^n, Y \in \{-1, 1\} \quad (1)$$

Y con un hiperplano de separación que se lo representa a continuación en (2).

$$g(\vec{X}) = (\vec{w} \cdot \vec{X}) + b = 0 \quad (2)$$

Los datos que fueron ingresados para el entrenamiento se encuentran debidamente separados de la mejor manera por un hiperplano, dando como resultado un margen máximo de separación entre vectores de distinta clase puestos a prueba, además se genera un margen de separación desde el hiperplano hacia cada clase de nuestros datos, como se muestra en la figura 1.

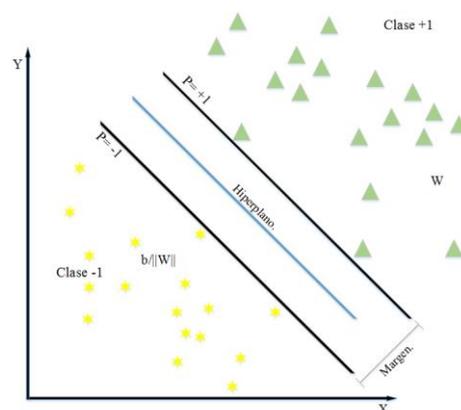


Figura 1 Hiperplano de margen máximo.

Los planos paralelos que se generaron con respecto al hiperplano vienen dados por:

$$P_{+1} = (\vec{w} \cdot \vec{X}_n) + b = 1 \quad (3)$$

$$P_{-1} = (\vec{w} \cdot \vec{X}_n) + b = -1 \quad (4)$$

La distancia entre hiperplanos de las dos clases (3) y (4) se conoce como margen máximo de separación y viene dado por $2/(||w||)$. La distancia desde el hiperplano hacia el origen de los ejes coordenados viene dado por $b/(||w||)$. Para obtener un margen apropiado se requiere optimizar (5) sujeto a las restricciones de (6), como se muestra a continuación [15].

$$\min_w \frac{1}{2} (\vec{w} \cdot \vec{w}) \quad (5)$$

$$Y_i (\vec{w} \cdot \vec{X}_i + b) \geq 1, \forall i \quad (6)$$

La Función objetivo de (5) sometido a las restricciones de (6) nos da como resultado un problema de optimización cuadrática, con restricciones, este caso se puede resolver usando los multiplicadores de Lagrange como se muestra en (7).

$$L(\vec{w}, b, \vec{\alpha}) = \frac{1}{2} ||\vec{w}'||^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i [y_i (\vec{w} \cdot \vec{X}_i + b) - 1] \quad (7)$$

Por medio de la eliminación de las variables primarias w y b se logra el problema de la doble optimización de Wolf como se visualiza a continuación.

$$\max_{\alpha} \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j X_i X_j (\vec{X}_i \cdot \vec{X}_j) \right] \quad (8)$$

$$\alpha_i \geq 0 \forall i \text{ y } \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0 \quad (9)$$

Y obtenemos la función de decisión, que es el resultado de la evaluación de cada uno de los vectores de la base de datos con la fórmula del hiperplano, y se define en (10).

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^n [\alpha_i y_i (\vec{x}_i \cdot \vec{x})] + b \right) \quad (10)$$

Si la información no pueden ser separada linealmente, se adopta por un método diferente, para las S.V.M. basado en [4] [16] para poder hacer posible la separación de ciertos casos en los que no se cumple con las restricciones antes mencionadas en (6). Se introducen las variables del sistema planteadas en (11) para poder obtener las nuevas restricciones del caso como se muestra en (12).

$$\xi_i \geq 0, \forall i \quad (11)$$

$$y_i (\vec{w} \cdot \vec{x}_i + b) \geq 1 - \xi_i, \forall i \quad (12)$$

Para obtener un hiperplano óptimo de clasificación, con un margen de separación mínimo, es sometiendo (13) a las condiciones de minimización de (12) [17].

$$\min_w \left[\frac{1}{2} (\vec{w} \cdot \vec{w}) + C \sum_{i=1}^n \xi_i \right] \quad (13)$$

La variable C se la puede seleccionar según convenga el caso de aplicación, de tal manera que para valores grandes, la probabilidad de error es grande, el valor eficaz se puede encontrar por verificación cruzada de los datos.

4. Estabilidad de tensión.

La principal función de la estabilidad de tensión en un Sistema de Distribución, es la de mantener en estado estacionario las tensiones en todas las barras o nodos después de sufrir una perturbación o falla [18] [19].

Donde la estabilidad se clasifica en varios tipos, dependiendo de las magnitudes de tensión.

4.1. Estabilidad de tensión ante grandes disturbios.-

Fundamentalmente se refiere a la capacidad de mantener estable las tensiones, luego de sufrir grandes perturbaciones, como fallas que comúnmente se dan en los sistemas de distribución, aumentos bruscos de carga, trabajo al máximo de transporte de potencia, generación alejada de la carga y por ultimo falta de elementos de

compensación de potencia reactiva [20][21][22].

4.2. Estabilidad de tensión frente a pequeñas perturbaciones.- Este tipo de estabilidad trata de mantener la tensión estable del sistema frente a pequeñas perturbaciones tales como pequeños disturbios, como cambios incrementales en la carga del sistema [23][22].

4.3. Estabilidad de tensión de corto tiempo.- La estabilidad de corto tiempo encierra la dinámica del sistema en el tiempo de componentes de la carga, como motores. El periodo de estudio de enfoque está en el orden de varios segundos, y el análisis requiere de los resultados de las ecuaciones diferenciales del sistema[20].

4.4. Estabilidad de tensión a largo tiempo.- La estabilidad de tensión de largo plazo fundamentalmente se basa en el estudio del funcionamiento de la red del sistema durante intervalos largos de tiempo con la finalidad de evaluar el sistema[24].

5. D-STATCOM principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento básico de un Compensador Estático de Potencia Reactiva (D-STATCOM), es el de suministrar energía eléctrica a una red en casos especiales (perturbaciones), cumpliendo con dos de sus principales objetivos que son, incrementar el nivel de potencia al sistemas de distribución y garantizar la estabilidad del sistema eléctrico de potencia, un compensador estático sincrónico de distribución está diseñado para generar o consumir potencia reactiva o potencia activa ya que es diseñado con un control interno[25].

La conexión de un D-ESTATCOM se la realiza en paralelo a la barra de interés, como se puede visualizar en la figura 2.

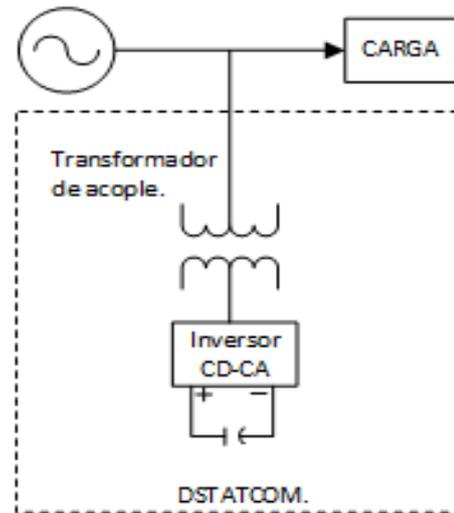


Figura 2 Diagrama de bloques de un D-STATCOM.

En la figura 2 se puede visualizar un modelo sintetizado de la forma de operación del D-STATCOM y a continuación en la tabla 1 se visualiza las variables que se requiere para el funcionamiento del controlador[26].

Tabla 1 Variables de funcionamiento del D-STATCOM.

Variable.	Significado.
$\angle\theta$	Angulo fase de tensión de red de distribución.
$\angle\phi$	Angulo de fase de tensión del convertidor.
V_1	Magnitudes de tensión del sistema.
V_2 .	Magnitud de la salida de tensión del convertidor.

En la figura 3 se puede apreciar el sistema unifilar con sus respectivas variables, del funcionamiento del D-STATCOM.

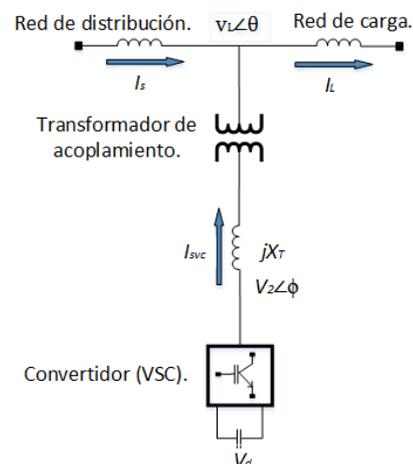


Figura 3 Variables de funcionamiento D-STATCOM.

El comportamiento del flujo de potencia activa y reactiva es bidireccional en cualquier flujo de potencia que tengamos, para perturbaciones donde el factor de potencia sea el caso de corrección el compensador es el encargado de suministrar potencia reactiva a nuestro sistema electrico de distribución.

Para el caso de suministro de potencia reactiva se evalúan las variables de la tabla 1, con la finalidad de que se reciba y entregue solo potencia reactiva, además las líneas de alimentación de la red de distribución tienen que ser de la misma magnitud de la salida de tensión del compensador, ($\angle\theta = \angle\phi$) respectivamente, y las variables que intervienen en las magnitudes de tensión de la salida del compensador y el sistema de distribución V_1 y V_2 son fundamentales para realizar el efecto de intercambio de potencia reactiva, a continuación en la tabla 2 se muestra los posibles casos de funcionamiento[27][28].

Tabla 2 Estados de funcionamiento del D-STATCOM

Estado.	Significado.
$\angle\theta = \angle\phi$	Intercambio de potencia reactiva.
$\angle\theta < \angle\phi$	Consumo de potencia activa (eleva V_1)
$\angle\theta > \angle\phi$	Suministra potencia activa (disminuye V_1).
$ V_1 > V_2 $	Consumo potencia reactiva (inductivo).
$ V_2 > V_1 $	Suministra potencia reactiva (capacitivo).

Analizando los estados de funcionamiento del controlador, se dice que cuando suministra potencia reactiva, el controlador opera en estado capacitivo y por lo tanto suministra reactivos a la red, y de lo contrario cuando consume potencia reactiva, se encuentra en estado Inductivo, actuando como un elemento consumidor de reactivos, de tal manera que en estado capacitivo el D-STATCOM trabaja como una fuente bidireccional de tensión del sistema, mientras que en estado inductivo este se comporta como una carga más de la red de distribución, en la figura 4 se muestra los dos estados de operación y el estado de funcionamiento de compensador[29], [30].

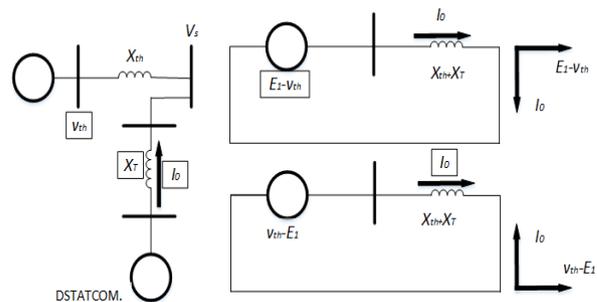


Figura 4 Estados de funcionamiento Inductivo y Capacitivo del controlador D-STATCOM.

6. Formulación del problema.

Los sistemas de distribución tienden a ser propensos a perturbaciones, tales como disminución de factor de potencia o incremento de cargas inductivas, es por eso que en este trabajo se propone un modelo de control por Descubrimiento de Patrones (Pattern Discovery Technique) que permite la reconfiguración en línea del controlador P.I. de un Compensador Estático de Distribución (D-STATCOM), para el control de tensión del sistema de distribución, el método de descubrimiento de patrones es el que nos facilitara la identificación del tipo de perturbación, mediante la técnica de las S.V.M. obteniendo como resultado una pronta respuesta a la perturbación y dando origen a una mejor calidad de energía eléctrica suministrada hacia el cliente.

7. Algoritmo matemático.

ALGORITMO DEL SISTEMA

Paso 1: Entradas: $V_{abc_B1} \in \mathfrak{R}^+$

Paso 2: Inicialización: $cont=0; cont1=0; cont2=0;$
 $int_A=0; kp=0.25; ki=0.0023;$
 $pv1=1; pv2=1; pv3=1; pv4=1;$
 $SP=1; t1=1; t2=1; t3=1; t4=1;$
 $var=1$

Paso 3: Asignación: $V_{abc_b1} = \text{get}(V_{abc_B1}, F1:C1) \in \mathfrak{R}^+$

Paso 4: Lectura: V_{abc_b1}

Para todo $x \in \mathfrak{R}^+$ hasta 12500

Cálculo de la parte proporcional del P.I.
 $error_A = |SP - (V_{abc_b2})|;$
 $error_A_kp = error_A * (kp);$

Cálculo de la Integral del P.I.

$int_A = int_A + error_A;$
 $integral_A_ki = int_A * ki;$

```

Fin par todo;
Paso 5: Etiquetado de las S.V.M.
data1 = xlsread('data_entrenamiento.xlsx');
Para todo v ∈ ℝ+ hasta 12500
    Si data1 < 0.955
        vol_corri=0;
    Caso contrario
        Si data1 > 1.045
            vol_corri=0;
        Caso Contrario
            vol_corri=1;
    Fin Si
    Fin Si
Fin Si

```

```

Paso 6: Entrenamiento de las S.V.M.
P111 = cvpartition(vol_corri,'Holdout',0.20);
svmStruct = svmtrain(data1(P111.training,:),...
vol_corri(P111.training),'showplot',true);
C1 = svmclassify(svmStruct,data1(P111.test,:),...
'showplot',true);
errRate = sum(vol_corri(P111.test)~= C1)/P111.TestSize
conMat = confusionmat(vol_corri(P111.test),C1)

```

```

Paso 7: Asignación de valores al D-STATCOM.
Para todo m ∈ ℝ+ hasta 3
    Si m==1
        Caso Contrario
            Si m==2
                Var=1; pv1=1; pv2=1.05;
                pv3=0.95; pv4=1;
            Caso Contrario
                Si m==3
                    var=0; pv1=1;
                    Kp=0.25;
                    Ki=0.0035;
                Fin Si
            Fin Si
    Fin Si

```

8. Caso de estudio.

Para nuestro caso de estudio se simuló un compensador Sincrónico Estático para distribución que es utilizado para estabilizar la tensión en un sistema de distribución de 25kV, el cual consta de dos líneas de distribución de 21km y 2 km respectivamente las cuales alimentan a las cargas que se ubican en las barras 2 y 5, además el sistema consta de un condensador de derivación en la barra 2 que es usado para la corrección del factor de potencia en esa barra, dos cargas en el final de circuito conectadas al transformador de 35kV/600V que nos ayudaran en las simulaciones para la variación de carga. Los datos obtenidos de tensión son entrenados y clasificados por las S.V.M. para poder tomar decisiones sobre el controlador para que el actuador pueda poner a prueba su eficacia.

En la figura 5 se muestra el modelo antes descrito.

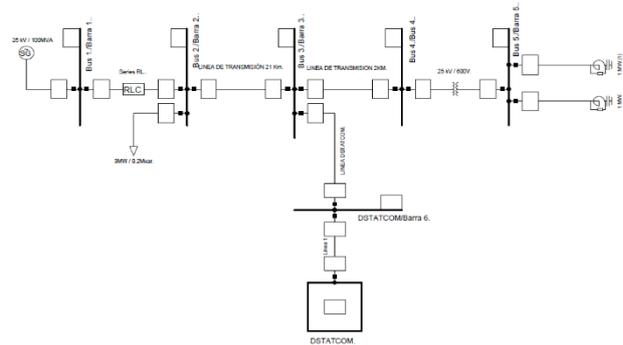


Figura 5 Sistema de distribución para el caso de estudio.

El D-STATCOM se encarga de mantener la tensión estable de la barra 3 consumiendo o inyectando potencia reactiva según se requiera. Cuando la tensión de la red es menor que la tensión del bus del Compensador, este trabaja como una fuente de tensión inyectando reactivos a la red del sistema, mientras que por lo contrario cuando la tensión del lado de la red es superior que la tensión de la barra del D-STATCOM trabaja como un elemento inductivo o un consumidor de reactivos, en otras palabras actúa como una carga más del sistema.

La técnica de las S.V.M. para nuestro caso de estudio se utilizó como un generador de patrones, identificándonos el tipo de perturbación que tengamos en el sistema, para que la técnica realice un buen trabajo, se realizó un proceso de sintonización de los parámetros de dicha técnica, como se muestra a continuación.

La Técnica de las S.V.M. es un método que requiere de la selección apropiada de sus parámetros ya que de esto depende su eficacia en el momento de obtener el resultado deseado, los parámetros principales son:

- El margen entre los planos.
- El costo máximo permitido de las variables.
- El tipo de Kernel.

Obtener un margen de separación entre planos es fundamental ya que de esto depende la separación de los datos en estudio y se obtiene con los mejores vectores de soporte.

El costo máximo permitido se refiere al valor extra que se le puede asignar a un valor de nuestra data, para que así se pueda seleccionar casos especiales y se los pueda seleccionar como una falla o como un dato dentro de los parámetros permitidos para nuestro caso el costo máximo es de 0,001.

Para el tipo de Kernel la técnica de las S.V.M. pone a nuestra disposición varias opciones para su sintonización entre las más usadas son la Linear, Quadratic, Polinomial, RBF, MLP cada una tiene varias aplicaciones diferentes, y para nuestro caso usaremos el Kernel RBF que se refiere a la Función de base radial Gausiana y es la que nos ayudara en nuestra clasificación de perturbaciones.

La técnica de las S.V.M. antes de clasificar los datos en estudio, pasa por una etapa de entrenamiento donde utiliza un 20% de toda la base de datos para que la S.V.M. obtenga las características deseadas y así los datos que ingresan para el caso de prueba los pueda identificar y clasificar según el entrenamiento que se le dio.

9. Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos son evidentes ya que la técnica de las S.V.M. nos es de mucha ayuda con la identificación de perturbaciones y de esta manera se puede reconfigurar los valores del controlador P.I. de nuestro Compensador Estático D-STATCOM.

Como se puede apreciar a continuación tenemos la matriz de confusión, resultado de la clasificación de la S.V.M. la cual nos indica los aciertos de nuestro proceso.

$$Confumatriz = \begin{bmatrix} 1886 & 0 \\ 1 & 613 \end{bmatrix}$$

La diagonal principal nos indica la cantidad números de aciertos de la clasificación, obteniendo 1886 datos acertados de la etapa de prueba, y 613 datos clasificados en la etapa de entrenamiento, con un porcentaje de error del 0,0004 % lo que certifica que la clasificación está dentro de los parámetros.

El papel de las Maquinas de Soporte Vectorial juega un papel muy importante, ya que de esta

técnica depende la toma de decisiones del controlador para identificar y envía a que actúe el controlador. Los errores que ya ocurrieron y la variable derivativa nos ayudan con los futuros errores.

A continuación en la figura 6 se puede apreciar el resultado, de cómo las S.V.M. actúan ante una perturbación tomando acciones en la reconfiguración del controlador P.I. para que nuestro controlador D-STATCOM pueda actuar ante la perturbación.

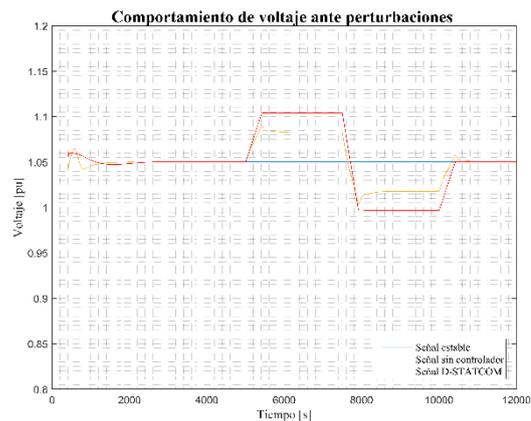


Figura 6 Comportamiento del sistema frente a una caída de tensión.

En la figura 6 se puede apreciar que la señal de tensión sufre variaciones, y el controlador toma acción ante la perturbación gracias a la pronta identificación de la técnica de las S.V.M. haciendo que la señal de tensión pueda reestablecerse un considerablemente en respuesta a tiempo y magnitud.

10. Conclusiones.

Después de haber analizado el funcionamiento de las S.V.M., sabemos que es de mucha ayuda cuando se trata de clasificar datos y generar patrones, como es nuestro caso, de controlar perturbaciones en sistemas de distribución, ya que estos sistemas sufren continuamente variaciones de tensión, y es donde se demuestra que nuestro control de tensión actúa ante perturbaciones, ya sean de caída o incrementos de tensión, haciendo que la tensión se establezca lo más pronto posible, para no ocasionar molestias o pérdidas en los clientes. Además de que la Técnica de las S.V.M. cumple un papel muy importante, que es de evaluar la señal de tensión en todo instante, y gobernar al

controlador P.I. del D-STATCOM para que este pueda mantener la señal de tensión estable, ante cualquier tipo de perturbación o falla que se presente, como se demostró en la simulación, que para cualquier evento que ocurra en el sistema, este es reconocido por las S.V.M. para que pueda ser etiquetada, clasificada y de esta manera el controlador actúe sobre ella.

Por otro lado las S.V.M. contiene una base de datos que se retroalimenta con la señal de salida la cual nos sirve para actualizar nuestro sistema de entrenamiento de las S.V.M. para que los resultados cada vez sean más veraces.

Las S.V.M. es una técnica que con el pasar del tiempo han ido tomando fuerza en el ámbito eléctrico, por su capacidad de generar predicciones y patrones para análisis de fallas en sistemas de distribución, y una de las funciones principales que tiene esta técnica es la de detectar perturbaciones en sistemas de distribución como es nuestro caso de estudio.

11. Futuros trabajos.

Para un trabajo futuro se propone un control de fallas para sistemas de distribución, aplicando la técnica de multclasificación de las S.V.M., donde se pueda trabajar con fallas monofásicas a tierra bifásicas a tierra y trifásicas a tierra, para que las S.V.M. pueda identificar y clasificar cada una de estas ya sea por tipo de falla y en que líneas fueron afectadas par que el controlador pueda actuar sobre ellas.

12. Referencias.

- [1] T. H. E. Impact, O. F. Distributed, G. On, V. Control, and I. N. Distribution, "Raymond O ' GORMAN ESB International , Ireland Miles REDFERN University of Bath , United Kingdom," *Electr. Distrib. 2005. CIRED 2005. 18th Int. Conf. Exhib.*, pp. 1–6, 2005.
- [2] B. Blažič, T. Pfajfar, and I. Papič, "Voltage control in networks with distributed generation - A case study," *Sustain. Altern. Energy (SAE), 2009 IEEE PES/IAS Conf.*, pp. 1–6, 2009.
- [3] Z. Dong and P. Zhang, *Emerging techniques in power system analysis*. 2009.
- [4] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-Vector Networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, no. 3, pp. 273–297, 1995.
- [5] J.Han, J.Pei, M.Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, vol. 3. 2012.
- [6] W. H. Kersting, *Distribution system modelling and analysis*. 2013.
- [7] a. Basu, C. Walters, and M. Shepherd, "Support vector machines for text categorization," *36th Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 2003. Proc.*, pp. 1–7, 2003.
- [8] R. Lukomski, "Utilization of Support Vector Machine Classifiers to Power System Topology Verification--forJune paper," *Mod. Electr. Power Syst. (MEPS), 2010 Proc. Int. Symp.*, no. i, pp. 1–6, 2010.
- [9] P. Bohra, "Understanding and Formulation of Various Kernel Techniques for Suport Vector Machines."
- [10] Y. Xu *et al.*, "Preventive Dynamic Security Control of Power system Based on Pattern Discovery Technique," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 3, pp. 1236–1244, 2012.
- [11] C. Hsu and C. Lin, "A comparison of methods for multiclass support vector machines," *Neural Networks, IEEE Trans.*, vol. 13, no. 2, pp. 415–425, 2002.
- [12] L. Xu, M. C. Chow, and X. Z. Gao, "Comparisons of logistic regression and artificial neural network on power distribution systems fault cause identification," *Soft Comput. Ind. Appl. 2005. SMCia/05. Proc. 2005 IEEE Mid-Summer Work.*, pp. 128–131, 2005.
- [13] H. Lala and S. Karmakar, "Continuous Wavelet Transform and Artificial Neural Network Based Fault Diagnosis in 52 bus Hybrid Distributed Generation System," 2015.
- [14] J. Zeng and W. Qiao, "Support vector machine-based short-term wind power

- forecasting,” *2011 IEEE/PES Power Syst. Conf. Expo.*, vol. 511, pp. 1–8, 2011.
- [15] R. Pérez, A. Aguila, and C. Vásquez, “Classification of the Status of the Voltage Supply in Induction Motors Using Support Vector Machines,” in *2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2016, pp. 1–5.
- [16] T. Ni and J. Zhai, “A matrix-free smoothing algorithm for large-scale support vector machines,” *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 358–359, no. 71371091, pp. 29–43, 2016.
- [17] G. Li, C. Wen, Z. G. Li, A. Zhang, F. Yang, and K. Mao, “Model-based online learning with kernels,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 356–369, 2013.
- [18] S. Chandrabhan and G. Marcus, “Of Power System Voltage Stability Using Modal Analysis,” *Ieee*, pp. 381–987, 2007.
- [19] P. Eólica, “Análisis de Estabilidad Angular del Sistema Eléctrico Ecuatoriano,” vol. 33, no. 3, 2014.
- [20] T. Ngo, Q. Nguyen, and S. Santoso, “Voltage Stability of Low Frequency AC Transmission Systems,” 2016.
- [21] D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos, “Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1656–1661, 2016.
- [22] L. O. Matos, J. Wilson, and G. Sanchez, “Reconfiguration Strategy for Fault Tolerance of Power Distribution Systems Using Petri Net,” *EtcM*, 2016.
- [23] A. Tiwari, “Addressing Short Term Voltage Stability Problem – Part I: Challenges and Plausible Solution Directions,” 2016.
- [24] K. R. Padiyar, *Power system dynamics: stability and control*. 2008.
- [25] F. M. F. Flaih, L. Xiangning, Q. K. Mohsin, and S. M. Dawoud, “Improving voltage profile in distribution system using PSO-TISO fuzzy in DSTATCOM control,” *2016 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS 2016*, pp. 424–429, 2016.
- [26] M. Kumar, “Performance of 3-Phase 4-Wire Distribution System with DSTATCOM and T-Transformer for Zero Voltage Regulation,” pp. 930–933, 2016.
- [27] S. G. Malla, M. Ieee, J. M. R. Malla, D. J. Deepu, and D. P. Kumar, “Performance Evaluation of DSTATCOM with 9-Level GTO Converter,” pp. 4392–4396, 2016.
- [28] A. Aguila, D. Carrión, and L. Ortiz, “Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems,” *Ieee Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015.
- [29] R. K. Mallick, “Design of Optimal Controller for DSTATCOM using Differential Evolution Technique,” pp. 1432–1437, 2016.
- [30] B. Singh, M. Kandpal, and I. Hussain, “Control of Grid Tied Smart PV-DSTATCOM System using an Adaptive Technique,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2017.