

## Protector de Sobre Tensión Permanente para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Equipadas con Generadores Asíncronos.

V.H. Kurtz <sup>a,\*</sup>, J.A. Olsson <sup>b</sup>, A.R. Marchegiani<sup>c</sup>, O.A. Audisio<sup>d</sup>

<sup>a,b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c,d</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Neuquén, Argentina.

e-mails: [kurtzvh@fio.unam.edu.ar](mailto:kurtzvh@fio.unam.edu.ar), [jorgealbertoolsson@fio.unam.edu.ar](mailto:jorgealbertoolsson@fio.unam.edu.ar), [ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar](mailto:ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar), [orlando.audisio@fain.uncoma.edu.ar](mailto:orlando.audisio@fain.uncoma.edu.ar)

---

### Resumen

En este trabajo se presenta un sencillo Protector de Sobre Tensión Permanente (PSTP), para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), que utilizan motores a inducción tipo rotor en cortocircuito (jaula de ardilla) como generadores de tensión asíncrona, cuando son impulsados por una turbina de doble acción tipo Michell-Banki.

La innovación del sistema presentado en esta oportunidad se encuentra en la utilización de un Disyuntor o Interruptor Diferencial (ID), como elemento de maniobra para la interrupción del flujo de energía, ante una sobre tensión permanente, en lugar de por ej. un contactor.

**Palabras Clave** – Generación asíncrona, Pequeña central hidroeléctrica, Protección, Sobre tensión.

### 1. Introducción

La sobretensión se produce cuando la tensión eléctrica de la red es muy superior a la nominal. Las sobretensiones pueden ser permanentes o transitorias.

#### 1.1. Sobretensiones transitorias.

Las sobretensiones transitorias son picos de tensión que pueden alcanzar valores del orden de las decenas de kilovoltios y una duración del orden de microsegundos. Pueden ser originados por el impacto de un rayo o fenómenos atmosféricos (la principal causa) o por conmutaciones en la red.

#### 1.2. Sobretensiones Permanentes.

Las sobretensiones permanentes son aumentos de tensión superior al 10% de la tensión nominal y de duración indeterminada.

La alimentación de equipos con una tensión superior a aquella para la que han sido diseñados puede generar: sobrecalentamiento de los equipos, reducción de la vida útil, incendios, destrucción de los equipos, interrupción del servicio. Por nombrar algunos.

En algunos países (no en Argentina), el uso de dispositivos de protección contra sobretensiones permanentes es obligatorio de acuerdo con las normas técnicas particulares de las compañías eléctricas.

\*Autor en correspondencia.

En España, por ej. el artículo 16.3 del REBT 2002 (*Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de España*) [1] indica la obligación de instalar de protectores contra sobretensiones permanentes en los circuitos eléctricos domiciliarios.

En pequeñas centrales hidroeléctricas, donde el productor generalmente también es el consumidor de energía eléctrica, se hace necesario y conveniente utilizar un protector de sobre tensión permanente.

## 2. Protector de Sobretensión Permanente

### 2.1. Motor Asíncrono como Generador

Para que un motor asíncrono tipo jaula de ardilla (motor común), funcione como generador, es necesario conectar capacitores (condensadores) en paralelo a los bornes del motor [2].

Para lograr la generación, se debe llevar al motor a una velocidad superior a la sincrónica (velocidad hipersincrónica), con los capacitores conectados en paralelo a los bornes de salida, pero sin carga.

Si la carga (consumo útil) se encuentra conectado a la salida del motor que se pretende usar como alternador, la excitación no se produce. Dicho de otra manera, para que un motor a inducción funcione como generador, se debe iniciar la generación con solo el o los capacitores conectados, sin carga. Recién una vez que se obtiene tensión generada, se conecta la carga o consumo [3].

### 2.2. Ubicación del Protector de Sobre Tensión Permanente

Un protector de sobretensión actúa en caso de un aumento de la tensión de servicio, tal lo indicado en el párrafo 1.2, desconectando la carga del generador.

Pero en generadores asíncronos, es importante el punto donde se ubica el interruptor de potencia encargado de separar el dispositivo a proteger, del generador.

En instalaciones normales el interruptor se instala del lado de la carga, como se ilustra en la fig. 1.

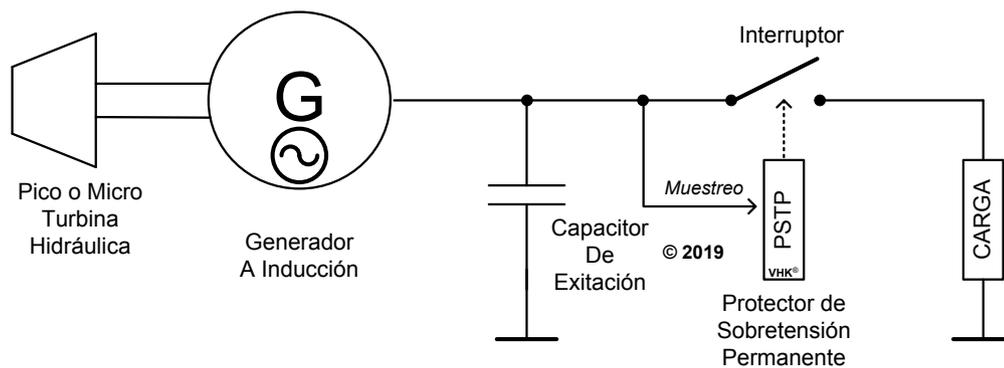
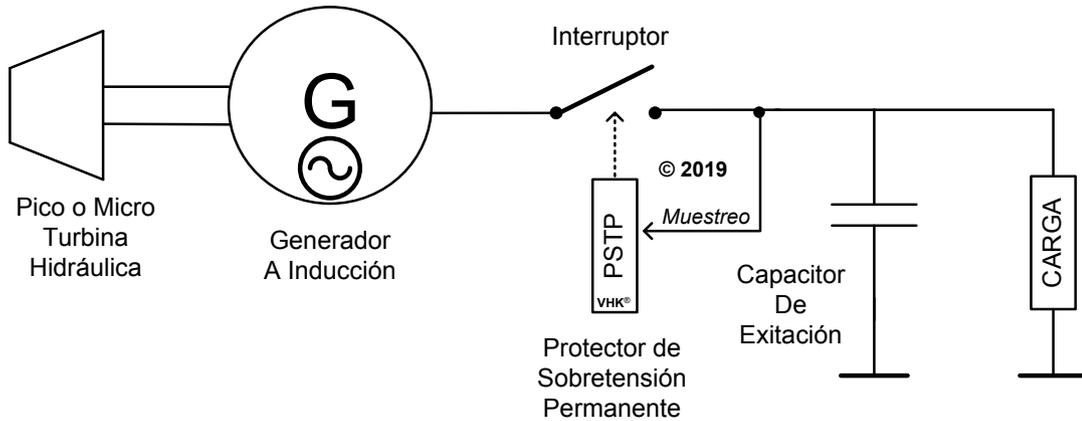


Fig. 1. Esquema de conexión del PSTP, opción 1 (diagrama unifilar). Fuente: elaboración propia.

Esta configuración no desconecta el capacitor de excitación, por lo que en bornes del generador se seguirá teniendo la sobretensión detectada, más la sobretensión ocasionada al retirar la carga. Poniendo en riesgo el capacitor y el generador.

En cambio, si el interruptor se instala antes del capacitor de excitación y de la carga, la tensión generada cesa ante la acción del PSTP ya que el capacitor de excitación se desacopla del circuito. (Ver fig. 2).



**Fig. 2. Esquema de conexión del PSTP, opción 2 (diagrama unifilar).** Fuente: elaboración propia.  
La topología de la fig. 2, se utilizará como opción en esta oportunidad.

### 2.3. Selección del Dispositivo de Maniobra utilizado por el PSTP.

El circuito detector de PSTP, actúa sobre un interruptor de potencia que separa el circuito a proteger.

Para la selección del elemento de maniobra, se analizaron cuatro dispositivos posibles.

- a) *Interruptor termomagnético.*
- b) *Contactor.*
- c) *Guardamotor*
- d) *Interruptor diferencial.*

Un interruptor tipo termomagnético no siempre presenta la opción de comando externo, lo mismo que un guardamotor.

Un contactor en cambio, si puede ser comando con una señal externa, como ser del PSTP. Pero al actuar desenergizando el circuito no deja la posibilidad reactivar la generación asincrónica, ya que, al no haber tensión generada, no actúa el contactor por lo tanto no conecta el capacitor de excitación. Los mismo ocurre si se desconecta la generación en forma manual, por ej. vía un telemando.

Un interruptor diferencial (ID), tampoco presenta la opción de comando externo, pero utilizando el ardid que se explicará a continuación es posible comandar el desenganche del ID.

### 2.4. Interruptor Diferencial.

Un interruptor diferencial actúa (interrumpiendo el circuito) en caso de existir diferencia entre la intensidad de la corriente que va hacia la carga  $I_1$  (Fig.3) y la corriente que retorna  $I_2$ .

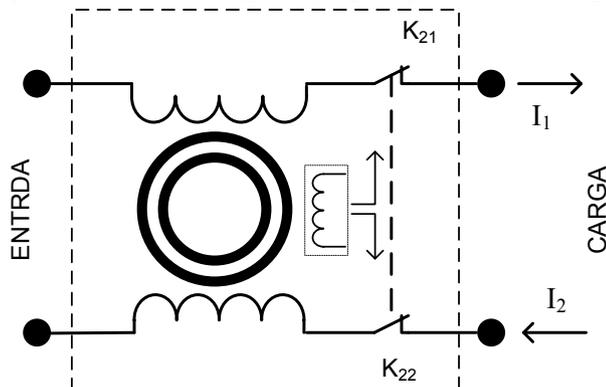


Fig. 3. Interruptor Diferencial, esquema interno. Fuente: elaboración propia.

Un ID está concebido para detectar una derivación a tierra en un circuito eléctrico, ya sea por falla de aislación o contacto accidental de una persona. No así para detectar sobrecorriente o sobretensión.

Entonces, si se provoca una derivación a tierra (tan solo unos pocos mA, bastan) es posible actuar sobre un ID interrumpiendo el circuito alimentado. En PCH no siempre el alternador se conecta a tierra física, por lo que un ID no actuaría en caso de una derivación a tierra.

La solución presentada en este trabajo consiste en provocar la diferencia de corriente que haga actuar el ID, utilizando una derivación externa o “bypass” controlado por el DSTP (fig. 4).

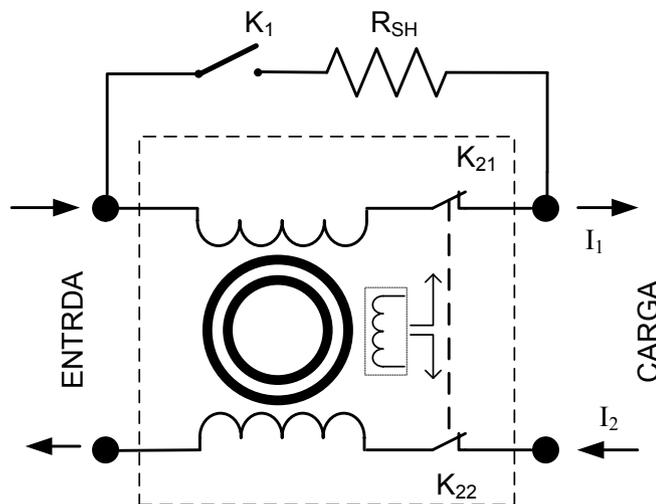


Fig. 4. Circuito “bypass” para disparar el Interruptor Diferencial. Fuente: elaboración propia.

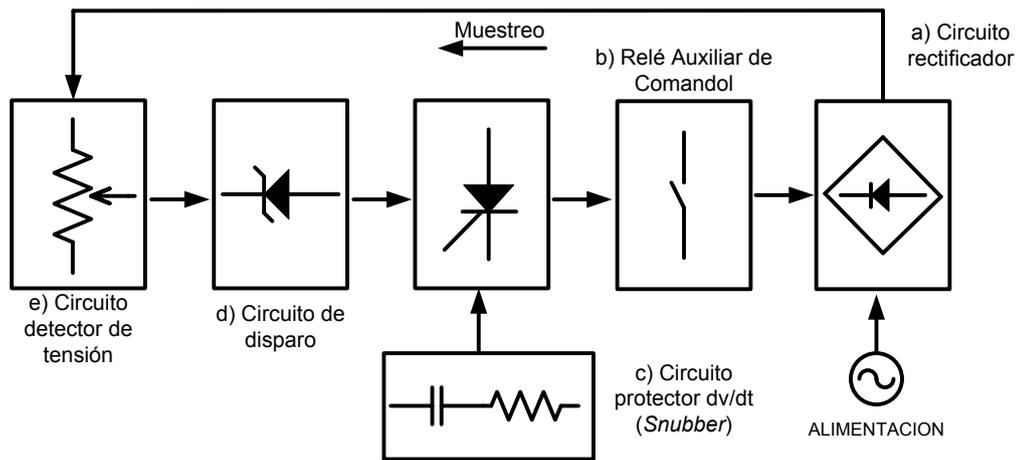
Al actual el contacto  $K_1$ , parte de la corriente  $I_1$ , se deriva por el circuito  $K_1$  y  $R_{SH}$ , provocando el disparo del interruptor diferencial.

### 3. Implementación del Circuito PSTP.

El circuito detector del PSTP utiliza como elemento de control (llave electrónica), un tiristor (RCS – Rectificador Controlado de Silicio) tipo C106 o TIC106, que opera con una corriente de disparo muy baja, del orden de los microamperios, lo que hace que el circuito detector y de disparo esté compuesto por elementos de baja potencia y por ende de bajo costo.

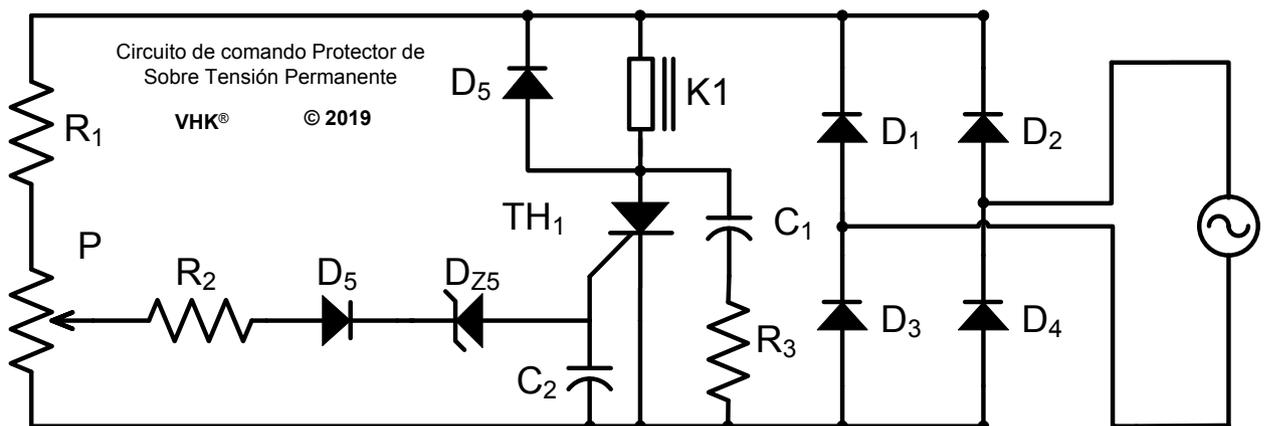
El tiristor presenta la ventaja que cuando se alcanza la corriente de disparo, entra a conducir prácticamente sin indecisión.

Para poder comandar un relé auxiliar K1 que usa bobina en corriente continua, se incluyó el RCS, en un puente rectificador a diodos tipo Graetz, el cual alimenta también el circuito de comando.



**Fig. 5. Diagrama en Bloques del Protector de Sobre Tensión Permanente (PSTP).** Fuente: elaboración propia.

El sistema de protector implementado se puede dividir en cinco partes, a) Circuito rectificador, b) Relé auxiliar de comando y semiconductor de control o llave electrónica, c) Protección del tiristor y relé, d) Circuito de disparo, e) Circuito detector de tensión. Tal como se puede apreciar en el diagrama en bloques de la figura 5.



**Fig. 6. Diagrama en Bloques del Protector de Sobre Tensión Permanente (PSTP).** Fuente: elaboración propia

El circuito electrónico del PSTP implementado se presenta en la fig. 6

### 3.1. Principio de funcionamiento.

Tomando como referencia el esquema de la figura 6, se tiene: El circuito divisor de tensión formado por R1 y P, actúa como sistema de muestreo indirecto de la tensión generada. R2 limita la corriente de disparo de TH1. El diodo D5 permite el paso de la corriente de disparo en un solo sentido, se utiliza como protección. El diodo Zener Dz5, actúa como generador de umbral de disparo. El capacitor C2, filtra la ondulación residual del sistema, asegurando un disparo confiable y con un leve retardo de actuación, para evitar disparos erróneos.

La llave electrónica formada por el tiristor (RCS) TH1 y el relevador (relé) K1, se encarga de comandar la etapa de potencia. Los diodos D1 a D4, forman un puente rectificador tipo Graetz, que permite controlar la bobina del relé en corriente continua, utilizando un interruptor unidireccional.

La red formada por C1 y R3, protege contra disparos indeseados del tiristor, producto de la variación de tensión respecto al tiempo (dv/dt), debido al comando de una carga fuertemente inductiva (en este caso, circuito electromagnético del relevador K1). D5 protege al semiconductor que comando de Th1 de sobretensiones inducidas por la bobina de K1).

## 4. Resultados Experimentales

El PSTP fue ensayado con éxito tanto en el laboratorio como en PCH de hasta 10kW. Utilizando distintas marcas de disyuntores diferenciales tanto en circuitos monofásico como en trifásico.

Con el potenciómetro de preajuste (*timpot o preset*) P, se ajusta el punto de disparo en aproximadamente 242/250 Vac (mas 10% de la tensión nominal), para un sistema de generación en 220Vac de tensión de fase.

Es posible calibrar el PSTP de dos formas: a) Una: en el laboratorio alimentando el circuito PSTP con un autotransformador variable (tipo Variac) y con la ayuda de un voltímetro, se fija el valor de tensión que se pretende que actúe el protector y se acciona el potenciómetro P hasta que el relé K1 entre en acción. b) Otra: en campo actuando sobre la máquina primaria hasta obtener la tensión de disparo del protector, luego regular el resistor variable P hasta que se desconecte la carga.

## 5. Formas de Conexión Sugeridas para el PSTP

En las PCH que operan con generación asincrónica se utilizan básicamente dos configuraciones; Una trifásica empleando un motor trifásico como generador acoplado a tres capacitores de excitación, estos capacitores se suelen conectar en triangulo. Y otra monofásicas utilizando un motor trifásico como generador en la configuración conocida como C-2C, donde los capacitores de excitación se conectan como se indica en la fig. 7.

La ubicación del interruptor diferencial para cada caso se ilustra en las fig. 8 y 9.

La señal de control del PSTP es conveniente tomar aguas abajo del ID, como se indica en la fig.2. De esta manera el sistema electrónico de control queda desconectado ante una sobretensión permanente, autoprotegiéndose.

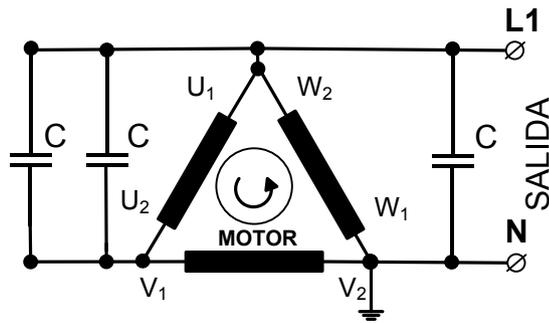


Fig. 7. Motor trifásico como generador monofásico en configuración C-2C. Fuente: elaboración propia.

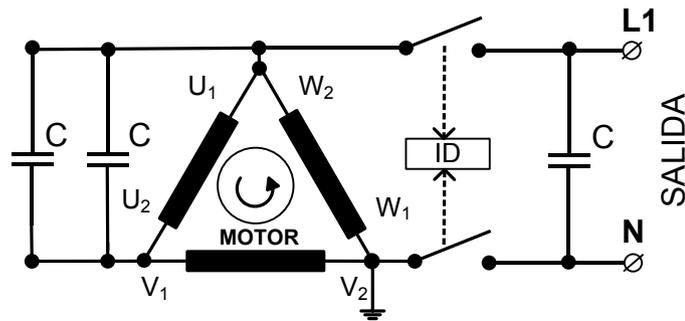


Fig. 8. Ubicación del ID del PSTP para un motor trifásico como generador monofásico en configuración C-2C. Fuente: elaboración propia.

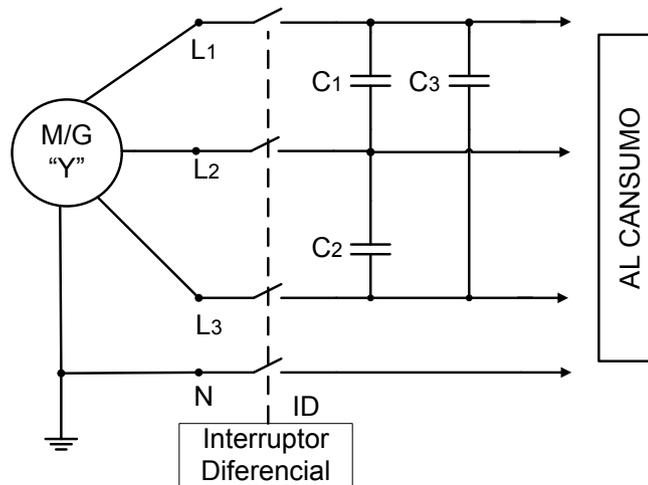


Fig. 9. Ubicación del ID del PSTP para un sistema trifásico. Fuente: elaboración propia.

## 6. Conclusiones

La implementación de este detector no presenta inconveniente para su montaje, basta mínimos conocimientos electrónicos. Los componentes son de bajo costo y de fácil adquisición.

Todo el sistema se puede montar en un pequeño gabinete plástico, que se puede alojar junto al interruptor diferencial.

Como elemento de maniobra (interruptor diferencial) se puede usar prácticamente cualquier modelo comercial, lo que le confiere versatilidad al protector.

Se ha tomado especial cuidado en utilizar componentes electrónicos bipolares, y no de efecto de campo, ya que estos últimos son muy susceptibles a las sobretensiones electrostáticas, producto de descargas atmosféricas muy frecuentes en la provincia de Misiones.

El disyuntor diferencial utilizado como protector de sobretensión permanente, también se puede utilizar como protector de falla de aislación o contacto accidental de una persona, siempre y cuando el generador esté conectado a tierra física.

El bajo costo del PSTP, permite disponer de un protector de repuesto en el micro aprovechamiento eléctrico.

En caso de PCH la desconexión de la carga producirá un aumento de la velocidad de la turbomáquina y el generador. Dependiendo del porte de la PCH, generalmente se dispone de elementos de freno mecánico y/o cierre automático del agua turbinada. En microcentrales de baja potencia o picocentrales hidroeléctricas, por una cuestión de costo no es común utilizar esas protecciones mecánicas. De los ensayos realizados [4] para las picocentrales hidroeléctricas no es indispensable el uso de las protecciones mecánicas ya que la velocidad de embalamiento de una turbina Michell-Banki se encuentra entre 1,8 a 2 veces la velocidad nominal y el motor como generador al tener rotor en cortocircuito puede soportar más de dos veces la velocidad sincrónica.

El PSTP puede ser utilizado en otros sistemas generadores que utilicen fuerza motriz distinta de la hidráulica, como ser eólica, entre otras.

El circuito presentado puede funcionar para generación asincrónica trifásica o monofásica en la configuración conocida como C-2C.

El PSTP tratado en esta oportunidad también puede ser utilizado en una instalación eléctrica estándar domiciliaria o industrial.

## Referencias

- [1] REBT 2019 – 6ta Edición. “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión”. ITC-BT-23. Madrid España.
- [2] Kurtz, Kurtz V.H. et al, “Cargador de Acumuladores con Generador a Inducción”, XII Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos Elpah – XII ELPAH - Quito – Ecuador - Octubre de 2007.
- [3] Kurtz V.H. “Detector de Tensión Generada en Generación Asincrónica”. Jornadas Científico-Tecnológicas. Campus Universitario. Miguel Lanus. Posadas – Misiones – Argentina. Mayo 2013.-
- [4] Ariel R. Marchegiani, Orlando A. Audisio, “Diseño, Construcción y Ensayo de Una Turbina de Flujo Transversal Para Generación Eléctrica En Sitios Aislados” X Encontro Latino Americano e do Caribe Sobre Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, 4 a 8 de Mayo, 2003, Poços De Caldas, Minas Gerais, Brasil.

**Nota:** *Los planos, placas montadas y/o el sistema listo para funcionar del protector presentado en este trabajo, se encuentran disponible para el público en general. Consultar a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Facultad de Ingeniería de la UNaM. sec.cyt@fio.unam.edu.ar, por más detalles.*