



# **ESTUDIO PARA DESARROLLO Y FABRICACIÓN DE GENERADORES DE BAJA REVOLUCIÓN PARA APLICACIÓN HIDRÁULICA DESARROLLADO Y PATENTADO POR ANTONIO CLEMENT**

**CÓDIGO DEL PROYECTO PA 7.20**

## **INFORME FINAL**

**Investigadores**

**ANTONIO CLÉMENT  
ANNE BRUNIA  
HEINE AVEN**

**JULIO DE 2011**



## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	i
RESUMEN EJECUTIVO .....	1
1. INTRODUCCION.....	5
2. ASPECTOS TÉCNICOS .....	7
2.1 PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	7
2.2 TURBINA.....	10
2.3 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD .....	12
2.3.1 GENERALIDADES SOBRE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS .....	12
2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR DE BAJAS REVOLUCIONES UTILIZADO EN EL ESTUDIO .....	14
2.4 EVALUACIONES TÉCNICAS .....	19
2.4.1 SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE SISTEMAS DE PICO HIDRO COMERCIALES INTERNACIONALMENTE .....	19
2.4.2 PRUEBAS ELÉCTRICAS .....	22
2.4.3 PRUEBAS HIDRÁULICAS.....	26
3. ANALISIS ECONÓMICO .....	31
3.1 COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	31
3.2 ESTIMACIÓN COSTOS DE FABRICACIÓN SISTEMA DE PICO HIDRO CLE 1000.....	35
4. FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PICO HIDRO GENERADOR .....	38
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
5.1 GENERADOR/TURBINA CLE 1000 .....	44
6. ANEXOS .....	47
ANEXO A .....	48
PRUEBAS DE LABORATORIO DE PICO HIDRO GENERADORES ELÉCTRICOS .....	48



<b>ANEXO B</b>	.....	52
<b>RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	.....	52
<b>ANEXO C</b>	.....	1
<b>INFORME DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA</b>	.....	1
<b>ANEXO D</b>	.....	23
<b>EMAIL CHINA RARE EARTH MAGNET Co.</b>	.....	23



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo y la fabricación del prototipo de un generador para aplicaciones hidráulicas de bajos saltos, basándose en un patente del Ing. Antonio Clément, para convertir motores de inducción en generadores de bajas revoluciones (< 1000 rpm), con la ayuda de imanes permanentes.

El invento de usar y convertir motores de inducción (usados o nuevos), ha sido patentado en Panamá y ha participado en varias competencias nacionales e internacionales. En el año 2005, el Ing. Antonio Clément fue galardonado como el mejor inventor de Panamá otorgándole la medalla de oro por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (*World Intellectual Property Organization*) en Ginebra, Suiza.



Además, el invento “Proceso de Conversión de Motores de Inducción Trifásicos en Generadores de Bajas Revoluciones y Flujo Radial utilizando Magnetos Permanentes para Aplicaciones Eólicas E Hidráulicas”, ha sido galardonado con el 3<sup>er</sup> premio en la Categoría Fire del Energy Globe Award en la Unión Europea del año 2006.

Según un estudio de Banco Mundial del 2007, en el mundo existen alrededor de 1.6 billones de personas que no tienen acceso a un servicio de electricidad, particularmente en los países en vía de desarrollo. Se estima que este número puede aumentar en los próximos 30 años, sí las inversiones en tecnologías energéticas modernas, no se hacen realidad. La falta de energía conlleva grandes problemas para las comunidades involucradas, entre ellos la falta de suministro de servicios de salud, educación y el desarrollo de micro-negocios. Esta situación energética empeora la problemática asociada con la pobreza y genera impactos ambientales negativos. Una mini red de electricidad basada en pico y micro hidro

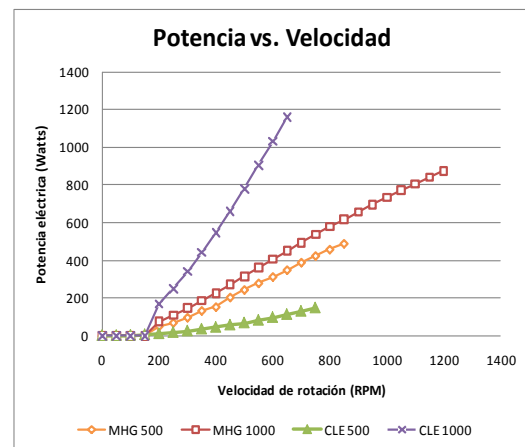
sistemas, es reconocida como la tecnología más costo-efectiva, para electrificar comunidades rurales.

En este estudio se determinó el desempeño del alternador de autos (CLE 500) y el generador de la patente desarrollada por el Ing. Antonio Clément (CLE 1000), mediante pruebas eléctricas e hidráulicas, que fue comparado con el desempeño de otros generadores adquiridos en el mercado internacional.

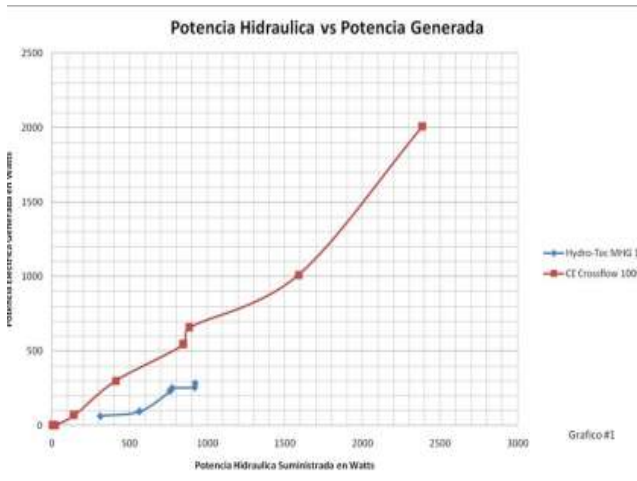
Las pruebas eléctricas fueron realizadas en un Banco de Pruebas del Laboratorio de Energía y las pruebas hidráulicas en el Laboratorio de Turbo Maquinaria, ambos de la Universidad Tecnológica de Panamá.

En la figura se muestra la potencia eléctrica generada versus la velocidad de rotación de la turbina/rotor, para cada uno de los equipos.

Las pruebas eléctricas muestran un buen desempeño del generador CLE 1000, fabricado a partir de la patente del Ing. Antonio Clément, ya que se logra generar 1161 W a 650 RPM. La eficiencia eléctrica varía entre 69% y 77%, subiendo ligeramente a velocidades de rotación mayores. Comparando estos datos con las mediciones del generador Hydrotec MHG 1000, adquirido desde Vietnam, se puede concluir que el CLE 1000 es superior en cuanto a la potencia generada, lográndose un 158% más de potencia o 2.5 veces mayor a 650 RPM.



Estos dos generadores acoplados a sus respectivas turbinas, se sometieron a pruebas hidráulicas, donde se pudo comparar la generación de potencia a partir de la rotación de la turbina, que fue causada por un flujo de agua.

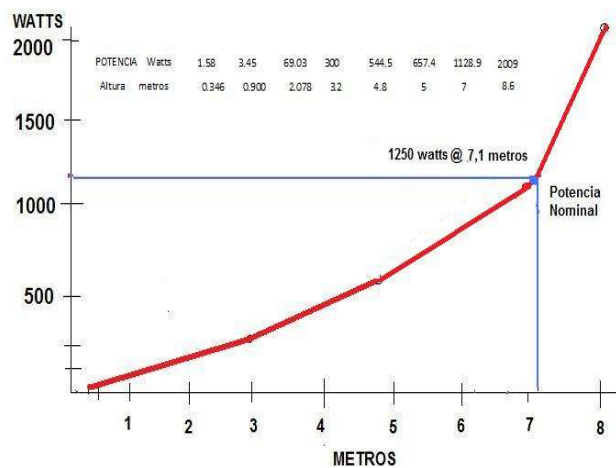


En la figura se muestra la potencia eléctrica generada versus la potencia hidráulica suministrada.

Las pruebas hidráulicas confirman el buen desempeño del generador CLE 1000 en conjunto con la turbina “crossflow”, al generar una máxima potencia de 2000 W a 8.7 m de salto hidráulico y una potencia nominal de 1250 W a 7.1 m.

Además del desempeño técnico del generador, el análisis económico muestra un costo por unidad de \$ 561.00, basados en la estimación de la fabricación de 100 ejemplares. Ese costo resulta en un costo total del sistema pico hidro con este generador/turbina de \$ 1,121.00 instalado. Ese dato se traduce en un costo de \$ 897.00/kW instalado, muy por debajo del rango de \$ 2,500 – 4,000/kW, que se ha encontrado en referencias bibliográficas de sistemas existentes en el mercado y da un margen amplio para la comercialización de este producto.

En base de los resultados obtenidos se ha fabricado un nuevo prototipo del pico hidro generador con potencia nominal de 1250 W. La curva de potencia desarrollada del nuevo prototipo, denominado CE 1250 se muestra en la figura. Para el nuevo prototipo se ha utilizado un motor nuevo, tipo industrial trifásico, de diseño americano, marca WEG, de pequeñas dimensiones y muy liviano.



Las ventajas que ofrece este prototipo CE 1250, desarrollado en combinación con una turbina “cross flow” hecha a la medida, son:

- La turbina “cross flow” es de acero galvanizado soldado y por lo tanto tiene una carcasa de construcción robusta



- El generador es trifásico, robusto de uso industrial, con espaciamiento entre magnetos de solo  $\frac{1}{4}$ ", y con un arreglo de capacitores, que se traduce en una maquina silenciosa, de voltaje estable, sin picos, con un requerimiento de torque muy bajo para iniciar a girar (que se traduce en un bajo caudal de agua)
- El generador está basado en un motor trifásico de calidad certificada CE, UL, NEMA
- El generador tiene un recubrimiento anti oxido interno y está sellado para evitar daños por la humedad
- Utiliza balineras industriales de alta calidad, tipo puente, fabricadas en Japón, con pistas de acero inoxidable
- Toda la tornillería de la maquina es de acero inoxidable.

En resumen, el generador CE 1250 muestra resultados muy prometedores para lograr una posible comercialización como parte del mercado de pico hidro sistemas. Se recomienda adelantar estudio de factibilidad que permita validar todos los aspectos y variables relevantes, para determinar la oportunidad de desarrollar a nivel nacional, una producción en serie de este generador, financiado por parte de un grupo corporativo privado, o por un programa de desarrollo privado – estatal (Electrificación Rural) , o por un organismo internacional (ONU, USAID, JICA, SG-SICA, Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica etc.) con el fin de llevar una solución energética a todas esas comunidades apartadas de la red eléctrica.

Además, considerando el amplio mercado de pico hidro sistemas en el mundo, vale la pena resaltar que el alternador modificado de autos (CLE 500), renombrado como CE 200, podría ser una opción viable para competir frente a equipos de especificaciones similares a las del generador Hydrotec MHG 200.



# 1. INTRODUCCION

Según un estudio de Banco Mundial del 2007<sup>1</sup>, en el mundo existen alrededor de 1.6 billones de personas que no tienen acceso a un servicio de electricidad, particularmente en los países en vía de desarrollo. Se estima que este número puede aumentar en los próximos 30 años, si las inversiones en tecnologías energéticas modernas, no se hacen realidad. La falta de energía conlleva grandes problemas para las comunidades involucradas, entre ellos la falta de suministro de servicios de salud, educación y el desarrollo de micro-negocios. Esta situación energética empeora la problemática asociada con la pobreza y genera impactos ambientales negativos.

En la mayoría de las comunidades sin acceso a la electricidad, la luz se obtiene mediante lámparas de kerosene, linternas o velas; alternativas que dan una calidad baja de iluminación a un costo relativamente alto.<sup>2</sup> Usualmente, la aplicación primordial de la de la electricidad en este tipo de comunidades, es la iluminación, cuyo costo depende principalmente de la tecnología utilizada.

La mini red de electricidad que aprovecha las fuentes de energía renovable, es reconocida como la tecnología más costo-efectiva, para electrificar comunidades rurales.<sup>1</sup> Dentro de las fuentes de energía renovable, las pico y micro hidro turbinas corresponden a tecnologías adaptadas a partir de los sistemas tradicionales de aprovechamiento de corrientes de agua, suministran electricidad en condiciones más favorables para los usuarios.

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo y la fabricación del prototipo de un generador para aplicaciones hidráulicas de bajos saltos, basándose en un patente del Ing. Antonio Clément<sup>3</sup>, para convertir motores de inducción en generadores de bajas revoluciones (< 1000 rpm), con la ayuda de imanes permanentes.

En el capítulo 2 se describen los aspectos técnicos, relacionados con la descripción de la tecnología desarrollada, la comparación con sistemas de pico

<sup>1</sup> "Technical and Economic Assessment of Off-grid, Mini-grid and Grid Electrification Technologies", ESMAP Technical Paper 121/07, The World Bank, December 2007

<sup>2</sup> Arthur Williams, "Pico hydro for cost-effective lighting", Boiling Point, (publ. by Household Energy Network), No. 53, Mayo 2007, pp 14-16

<sup>3</sup> Antonio Clément, "Proceso de Conversión de Motores de Inducción Trifásicos en Generadores de Bajas Revoluciones y Flujo Radial Utilizando Magnetos Permanentes para Aplicaciones Eólicas e Hidráulicas", Patente US60/711,944, 29 Agosto 2005





hidro existentes en el mercado internacional, y los resultados de las comparaciones técnicas entre ambos sistemas durante las pruebas eléctricas e hidráulicas realizadas en laboratorio. En el capítulo 3 se incluye el análisis económico; en el Capítulo 4 se describe el procedimiento para la fabricación del prototipo del generador desarrollado por el Ing. Antonio Clément; y finalmente se dan las Conclusiones y Recomendaciones en el Capítulo 5.



## 2. ASPECTOS TÉCNICOS

Para comprender la importancia de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, es necesario precisar sobre algunos conceptos técnicos relacionados con la aplicación de los sistemas hidroeléctricos, los equipos complementarios para lograr la transformación del potencial energético del agua y los principios básicos de la generación eléctrica.

### 2.1 PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Desde los comienzos de la producción de electricidad, la hidráulica ha sido, y sigue siendo, la primera fuente renovable utilizada para su generación. No existe una definición internacional acordada para clasificar los diferentes tamaños de las pequeñas centrales hidroeléctricas, sin embargo en la mayoría de las publicaciones se utiliza como límite superior una potencia instalada de 10 MW. Dentro del rango de pequeñas hidroeléctricas, las mini hidro, corresponden con todos los sistemas inferiores a 1 MW, las micro hidro a aquellos sistemas inferiores a 100 kW, y las pico hidro son todos los sistemas inferiores a 5 kW de capacidad instalada. Cada uno de los sistemas tienen sus propias especificaciones técnicas.

La mayoría de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos son del tipo de agua fluyente, lo que quiere decir que las turbinas generan electricidad mientras pasa por ellas un caudal igual o superior a su mínimo requerido y se paran cuando el caudal desciende por debajo de ese nivel. Normalmente este tipo de aprovechamientos no tiene la posibilidad de almacenar agua para generar electricidad en horas pico; caso contrario a lo que ocurre con los aprovechamientos hidroeléctricos convencionales (medianos y grandes), donde se tiene una obra civil de gran envergadura y se inundan grandes áreas para embalsar el agua y crear las condiciones técnicas necesarias, dando lugar a importantes impactos negativos en el entorno, los cuales no se presentan en los pequeños aprovechamientos, haciéndolos más favorables para ecosistemas más sensibles.

En el cuadro 2.1 se presenta la distribución de la potencia instalada en MW de las pequeñas centrales hidroeléctricas existentes a nivel mundial y según la región.



**Cuadro 2.1 Potencia Instalada de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas<sup>4</sup>**

REGIÓN	CAPACIDAD INSTALADA (MW)	PORCENTAJE (%)
Asia	32,641	68.0
África	228	0.5
América del Sur	1,280	2.7
América del Norte y Centro América	2,929	6.1
Europa	10,723	22.3
Oceanía	198	0.4
<b>TOTAL</b>	<b>47,997</b>	<b>100</b>

En las últimas décadas se ha incrementado la implementación de sistemas de Micro y Pico hidro en Asia (mayormente China, Nepal y Vietnam) y Suramérica. Aunque estos sistemas generan electricidad con una capacidad instalada reducida, suplen una demanda esencial a un gran número de personas. En general, las micro y pico hidro son tecnologías aptas para ser aplicadas en países en vía de desarrollo, ya que permiten suministrar electricidad a comunidades aisladas donde no existe una red eléctrica, mientras que las mini hidro son sistemas que normalmente se conectan a la red.<sup>5</sup>

La tecnología de pico y micro hidro ha sido validada en varias publicaciones e impulsada en los últimos años, debido a la facilidad y estandarización del diseño de las instalaciones, que con la introducción de nuevos elementos, como el uso de generadores de inducción y controladores electrónicos, la hacen más atractiva desde el punto de vista económico. Una referencia reconocida de la tecnología pico hidro, se describe en el manual práctico de Phillip Maher y Nigel Smith de la Nottingham Trent University<sup>6</sup>:

*“La pico hidro se refiere a instalaciones hidroeléctricas con niveles de generación eléctrica inferiores a cinco kilovatios. Estos sistemas hidroeléctricos, gozan de ventajas en términos de costos y simplicidad, comparados con sistemas hidroeléctricos de mayores capacidades, debido a los distintos procedimientos que se aplican en los pasos de diseño, planificación e instalación de los pico-sistemas. Las recientes innovaciones en la tecnología pico hidro, han hecho*

<sup>4</sup> Recopilado de “The International Journal on HydroPower and Dams, 2004 y US – DOE, 2004

<sup>5</sup> Brochure “Small Hydro Power for Developing Countries”, European Small Hydropower Association (ESHA) and IT Power, Thematic Network on Small Hydropower (TNSHP) Project, 2006

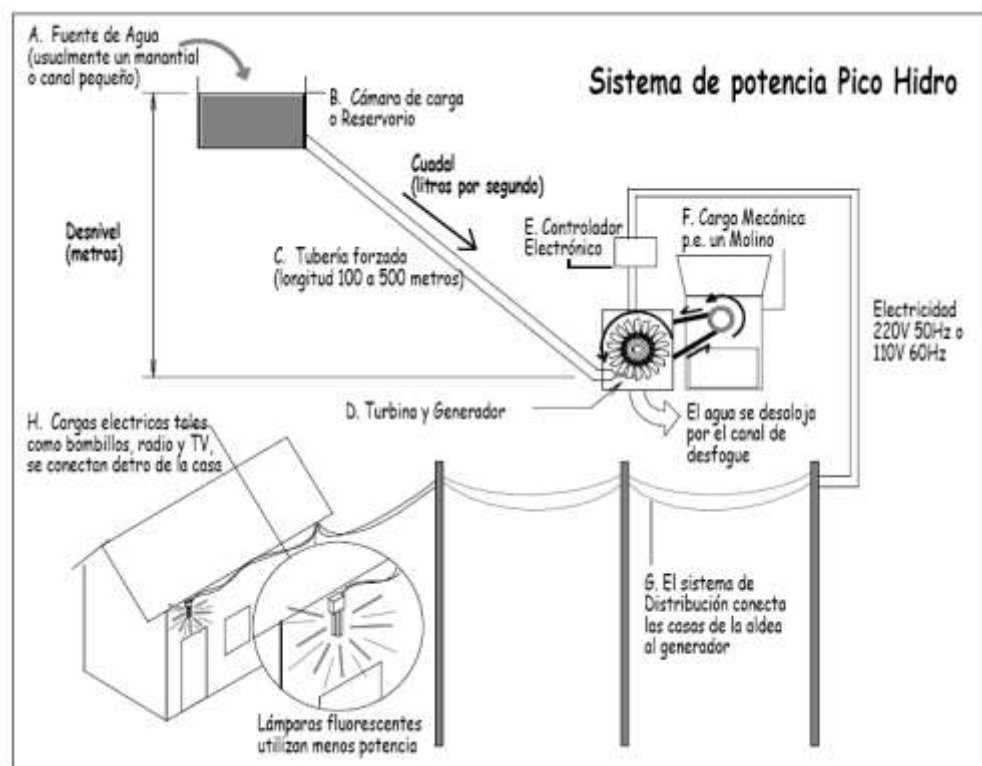
<sup>6</sup> Phillip Maher y Nigel Smith, “Pico Hidro – Potencia para Aldeas” Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 kW en Terrenos de Pendientes Fuertes, Edición 2.0, Mayo 2001



*que se convierta en una tecnología energética, económicamente viable, aún en partes del mundo muy pobres e inaccesibles. Además es una fuente de potencia versátil. Puede generar electricidad de corriente alterna permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándares, y la distribución de la electricidad a toda una aldea. Con algunos diseños pico hidro es posible también sacar fuerza mecánica directamente del eje de la turbina, permitiendo el funcionamiento de maquinarias, tales como: herramientas para talleres, molinos de granos, y otros equipos de procesamiento de los productos agrícolas locales.”*

En la figura 2.1 se presenta el principio básico de funcionamiento de un sistema pico hidro.<sup>4</sup>

**Figura 2.1. Funcionamiento Esquemático de un Sistema de Potencia Pico Hidro**



El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en un punto - el más alto del aprovechamiento - en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicada la turbina y

el generador eléctrico (casa de maquina). La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento, es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto.

De acuerdo con la altura del salto, los aprovechamientos pueden clasificarse en<sup>7</sup>:

- De alta caída: salto de más de 150 m
- De media caída: salto entre 50 y 150 m
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m

## 2.2 TURBINA

Se entiende por turbina, el conjunto de equipos que incluye el rodete, la tobera y la carcasa que los rodea y protege, los cuales están acoplados al generador. La potencia del chorro de agua (potencia hidráulica), es transmitida al rodete de la turbina, transformándola en potencia mecánica. El rodete de la turbina contiene “aspas” o “cucharas” que lo hacen rotar cuando recibe el impacto del chorro de agua.

En el cuadro 2.2 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de turbinas según su salto hidráulico.

**Cuadro 2.2 Clasificación de los Diferentes Tipos de Turbinas**

TIPO DE TURBINA	SALTO		
	ALTO (> 50 M)	MEDIO (10 < H < 50 M)	BAJO (< 10 M)
Impulso o Acción	Pelton	Crossflow	Crossflow
	Turgo	Turgo	
	Multi.Jet Pelton	Multi Jet Pelton	
Reacción		Francis (espiral)	Francis (abierto)
			Hélice
			Kaplan

- **Turbina Pelton:** Son turbinas de flujo transversal y de admisión parcial. Son el resultado directo de la evolución de los antiguos molinos de agua, y en vez de contar con álabes o palas se dice que tiene cucharas. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua altos y con caudales pequeños (turbina de impulso o acción)

<sup>7</sup> Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica, European Small Hydropower Association (ESHA), 2006



- **Turbina Turgo:** Igual que la turbina Pelton, se trata de una turbina de impulso o acción; sus alabes tienen una distinta forma y disposición. El chorro incide con un ángulo de  $20^{\circ}$  respecto al plano diametral del rodete, entrando por un lado del disco y saliendo por el otro. A diferencia de la Pelton, en la turbina Turgo el chorro incide simultáneamente sobre varios alabes, de forma semejante a como lo hace el fluido en una turbina de vapor.
- **Turbina Banki o Cross Flow:** Son microturbinas del tipo Mitchel-Banki o turbinas de flujo cruzado (Cross-Flow) o de doble acción (turbina de impulso). Estas turbinas se utilizan con una gama muy amplia de caudales y son aptas para saltos medios y bajos.
- **Turbina Francis:** Son turbinas de flujo mixto y son del tipo reacción. Existen algunos diseños complejos que son capaces de variar el ángulo de sus álabes durante su funcionamiento. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua medios y bajos y caudales medios.
- **Turbina Kaplan:** Son turbinas axiales, que tienen la particularidad de poder variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento. Están diseñadas para trabajar con saltos de agua bajos y con altos caudales (turbina de reacción). También existen turbina hélice, que son exactamente iguales a las turbinas Kaplan, pero a diferencia de estas, no son capaces de variar el ángulo de sus palas (*"propeller"*).

Las turbinas "Cross-Flow" y Pelton son las más usadas en países en vía de desarrollo, por ser más fáciles de construir localmente. Además, las turbinas de impulso o de acción, presentan ciertas ventajas sobre las turbinas de reacción, en sistemas micro hidro<sup>8</sup>, tales como:

- Mayor tolerancia a la presencia de arena o partículas en el agua
- Mejor acceso a las partes giratorias
- No requieren de sellos
- Fáciles de construir y mantener

Para este estudio se ha acoplado el generador fabricado por el Ing. Clément a una turbina tipo Banki o Cross Flow que también ha sido fabricada localmente, ya que es un sistema apto para saltos bajos y flujos relativamente bajos, como lo son la

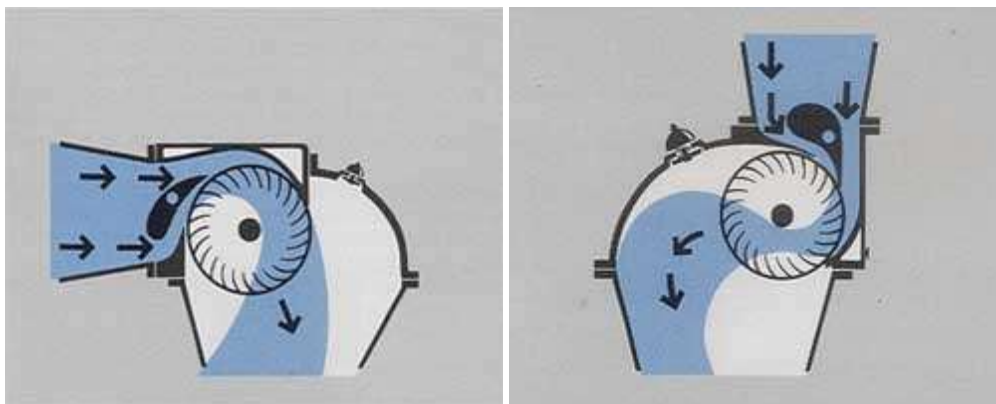
<sup>8</sup> Brochure "Small Hydro Power for Developing Countries", European Small Hydropower Association (ESHA) and IT Power, Thematic Network on Small Hydropower (TNSHP) Project, 2006



mayoría de aplicaciones pico y micro hidro que existen en el mundo y que también corresponde con la configuración hidráulica de mayor implementación en Panamá. Esto no quiere decir, que en aplicaciones con saltos altos, no se pueda considerar el uso de las turbinas Pelton que serían las más adecuadas.

En la Figura 2.2 se muestra esquemáticamente la turbina “Cross-Flow”.

**Figura 2.2 Esquema Funcional de la Turbina Cross-Flow con Flujo de Agua Horizontal y Vertical<sup>9</sup>**



La turbina Cross-Flow tiene la ventaja de ser tolerante a presencia de sedimentos y/o hojas dentro del agua, igual que la turbina hélice. La eficiencia de estas turbinas “Cross-Flow” es de aproximadamente un 80%.

## 2.3 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

### 2.3.1 Generalidades sobre los Generadores Eléctricos

El propósito del generador es convertir la potencia mecánica giratoria de la turbina en potencia eléctrica. Por este dispositivo la fuerza de una corriente de agua, puede convertirse en electricidad. Existen varios tipos de generadores para los sistemas de micro y pico hidro. En el cuadro 2.3 se muestran los generadores de mayor aplicación:

<sup>9</sup> <http://www.ossberger.de/cms/es/hydro/la-turbina-ossberger/>

**Cuadro 2.3 Tipos de Generadores para Micro y Pico Hidro Sistemas**

Tipo de Generador	Fuente	Precio Típico para una máquina de 3kW	Opciones de Velocidades (rpm)	Desventajas	Ventajas
Inducción	Motor industrial estandar utilizado como generador	Bajo: \$200 - \$250	1000, 1500, 3000	Requiere de capacitores correctamente seleccionados para operar como generador. No es bueno para arrancar motores.	Disponible en muchos lugares, rangos de velocidades bajas, de construcción sencillo y robusto. Aguanta sobre-velocidades. Más barato que el generador sincrónico.
Sincrónico - de escobillas	Utilizado comunamente con motores de gasolina o diesel	Bajo - mediano: \$300 - \$500	3000, o a veces 1500	Las escobillas y los anillos se gastan y tienen que ser repuestos. Requiere de reforzamiento para poder aguantar sobre-velocidades	Mayor eficiencia que el generador de inducción a cargas parciales. Mejor capacidad de arrancar motores.
Sincrónico - sin escobillas	Utilizado ocasionalmente con motores de diesel	Alto: \$600 - \$1000	1500, 3000	Poca disponibilidad. Reparaciones a menudo son complejas y costosas. Requiere de reforzamiento para poder aguantar sobre-velocidades	Mismas ventajas que el generador sincrónico con escobillas, pero con mejor confiabilidad.
DC	Car or truck alternator	No Applicable. capacidades máximas de = 500W	Coche > 2000, camión > 1200	No apropiado para electrificación de aldeas. Las escobillas y los anillos se gastan.	Costo muy bajo, no requiere de controlador.

Del cuadro anterior se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Los generadores de inducción y los generadores sincrónicos producen electricidad de corriente alterna. La ventaja principal de la corriente alterna es que la energía puede ser transportada a grandes distancias. Por lo tanto, la corriente alterna es apropiada para proyectos de electrificación de comunidades rurales apartadas.
- Los generadores de inducción son buenos para la provisión de electricidad en áreas remotas porque son robustos y muy confiables.
- Para sistemas sencillos, por ejemplo para cargar baterías o alumbrar una sola casa ubicada cerca de la turbina, es mejor considerar un generador de corriente directa (CD).
- Los generadores sincrónicos son adecuados para aquellos sistemas que deben arrancar motores que tienen un tamaño mayor al 15% de la capacidad del generador.
- Los generadores de inducción son costosos y debe ser adquiridos por pedido especial, sin embargo, existe la alternativa de reemplazarlos por



motores trifásicos de inducción operados “al revés”, que son fabricados en masa, lo que los hace baratos y de fácil adquisición.

- Para la mayoría de pequeños proyectos de electrificación, se requiere generar electricidad monofásica, lo que se logra fácilmente con un motor trifásico, mediante la conexión de cantidades desiguales de capacitores. Es importante que se seleccione el tipo correcto de capacitores y que se hagan las conexiones correctas, de otra manera el generador no funciona o puede llegar a sobrecalentarse.<sup>10</sup>
- Los motores trifásicos funcionan a altas revoluciones (1000 – 3000 rpm), lo cual es una desventaja cuando son usados como generadores monofásicos sin un proceso de conversión, ya que requieren de una transmisión que permita elevar las bajas revoluciones de las turbinas hidráulicas.

### 2.3.2 Descripción del Generador de Bajas Revoluciones Utilizado en el Estudio

Los tipos de generadores mencionados en el numeral 2.3.1, no son la única opción para los sistemas micro hidro. En este estudio se parte de la patente del Ing. Antonio Clément<sup>11</sup>, que describe la conversión de un motor trifásico de inducción, en un generador trifásico, mediante la introducción de imanes permanentes, con el fin de obtener un generador con un costo más bajo al de un generador de inducción que debe ser adquirido por pedido especial. Además, se debe resaltar el hecho de generar empleo local por la conversión que se debe realizar. El proceso de conversión se describe brevemente a continuación.

A diferencia de un generador de inducción con imanes permanentes del tipo “flujo magnético axial”, el generador desarrollado por el Ing. Antonio Clément, se apoya en un motor de inducción robusto y confiable, que tiene una estructura y embobinado de aplicación mundial.

El motor de inducción trifásico consta básicamente de dos partes:

<sup>10</sup> Phillip Maher y Nigel Smith, “Pico Hidro – Potencia para Aldeas” Un Manual Práctico para Instalaciones de hasta 5 kW en Terrenos de Pendientes Fuertes, Edición 2.0, Mayo 2001

<sup>11</sup> Antonio Clément, “Proceso de Conversión de Motores de Inducción Trifásicos en Generadores de Bajas Revoluciones y Flujo Radial utilizando Magnetos Permanentes para Aplicaciones Eólicas E Hidráulicas”, Patente US60/711,944, 29 Agosto 2005

- **Estator:** Es la parte fija del motor acoplada a la carcasa. Consiste en una estructura hueca formada por láminas de hierro donde se alojan las bobinas que inducirán un campo magnético dentro del motor.
- **Rotor:** Es la parte móvil (giratoria) del motor. Consiste en un cilindro también formado por láminas de hierro, el cual gira en forma concéntrica dentro del estator. En el rotor se alojan las bobinas donde se generarán las fuerzas que lo mueven.

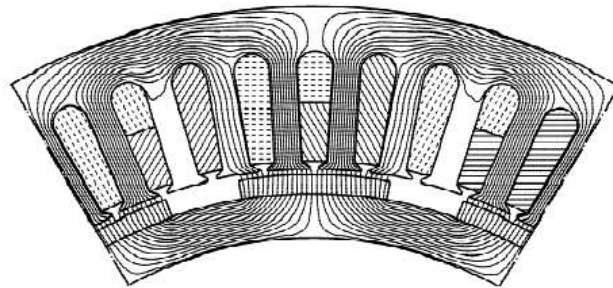
El estator está formado por tres bobinas, las cuales pueden estar conectadas eléctricamente en estrella o en triángulo (delta). La forma en que se distribuyen dichas bobinas en el núcleo del estator determina la forma del campo magnético dentro del motor. La distribución de los bobinados se hace de tal forma que el campo magnético dentro del motor, tenga una dependencia sinusoidal con la posición.

La clave de la fabricación de los generadores es que se utiliza un motor de inducción existente, ya sea nuevo o usado, cuyo rotor, estator y carcasa, son reutilizados, lo que permite ciertos ahorros. El método de conversión de los motores de inducción en generadores de imanes permanentes, está basado en los resultados de la tesis de Petri Lampola<sup>12</sup>. Sin embargo, a diferencia del Dr. Lampola, se utilizan imanes permanentes *curvados de grado 35*, en vez de imanes rectangulares. Además el Ing. Antonio Clément mantiene el rotor original laminado del motor y no reemplaza el mismo con un rotor nuevo de tipo “solid core”. Los imanes permanentes son fabricados por pedido especial, según las especificaciones típicas y únicas de cada modelo particular de motor, con un material conocido como Neodymium (NdFeB). Luego de hacer los cálculos para las dimensiones de los imanes permanentes curvados, que depende del tamaño del rotor de cada motor, solo resta realizar ligeras modificaciones, tales como torneado y fresado el rotor, para insertar los imanes. La colocación de los imanes se hace manualmente. Para la fijación de los imanes al rotor, se utiliza un acero epóxico (una resina), que funciona como una soldadura metálica en frío. Luego del secado de la resina, se pinta el rotor con una pintura anti-óxido y dieléctrico y se monta el rotor con los imanes en el estator. El proceso de fabricación da una configuración similar a la presentada en la Figura 2.3.

---

<sup>12</sup> Petri Lampola, “Directly Driven, Low-Speed Permanent-Magnet Generators for Wind Power Applications”, Helsinki University of Technology, Finland, Acta Polytechnica Scandinavica Electrical Engineering Series No. 101, Espoo, 2000, ISBN 951-666-539-X.

**Figura 2.3 Vista con la Geometría del Generador de Magnetos Permanentes**



El arranque de estos motores será producido por los imanes permanentes y no por las bobinas. Como se mencionó anteriormente, los primeros prototipos de generadores fabricados por el Ing. Antonio Clément, utilizan imanes de Neodymium (NdFeB) curvados, grado 35, especialmente diseñados para las maquinas a convertir. Como se puede apreciar en el cuadro 2.4, la energía de estas magnetos es la más conveniente.

**Cuadro 2.4 Características Energéticas de Algunos Tipos de Magnetos**

Tipos de materiales	Símbolo	Remanencia (Gauss)	Pr. Energía BH max (MGOe)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Tmax °C
Alnico	Al	6500-12500	5	7.3	425
Ferrita	Fe	2000-4000	3.7	5	250
Neodimio-Hierro-Boro	NdFeB	10500-11500	35	7.5	80-150
Samario-Cobalto	Sa-Co	9000-10500	28	8.3	250

Este tipo de motores con imanes permanentes incorporados en su rotor, se convierten en generadores con una nueva vida útil, que no requieren de campos de excitación externos, ya que es proporcionado por el imán. Tampoco requieren intercalar una transmisión para que eleve las revoluciones por minuto (rpm), como es el caso de las maquinas excitadas a través de la red eléctrica; porque a diferencia de esas maquinas que necesitan girar alrededor de las 1500 rpm; el generador de imanes permanentes, genera corriente utilizable con giros lentos de apenas 100 rpm, y dotados de solo 12 o 14 polos (configuración más usual en maquinas con menos de 10 kW).

El invento de usar y convertir motores de inducción usados, ha sido patentado en Panamá y ha participado en varias competencias nacionales e internacionales. En el año 2005, el Ing. Antonio Clément fue galardonado como el mejor inventor de Panamá otorgándole la medalla de oro por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (*World Intellectual Property Organization*) en Ginebra, Suiza. Además, el invento “Proceso de Conversión de Motores de Inducción Trifásicos en Generadores de Bajas Revoluciones y Flujo Radial utilizando Magnetos Permanentes para Aplicaciones Eólicas E Hidráulicas”, ha sido galardonado con el 3<sup>er</sup> premio en la Categoría Fire del Energy Globe Award en la Unión Europea del año 2006. El jurado del Energy Globe Award, emitió la siguiente calificación:

*“There is a great deal of potential for small scale water or wind power plants in the poor countries of the world, which could guarantee the local power supply. However, often the needed funds are missing. The main objective of the project was to convert new or used induction motors into low cost power generator – a brilliant concept considering that such engines are integrated in machinery around the world and are partly unused. The machines are specially designed for low rotational speeds allowing the possibility of interconnecting these generators to wind power plants and water plants. Compared to commonly available generators, the modification costs are approx. 15% of a new acquisition. They are specially designed for generating electricity under difficult conditions and situations and provide a cheap alternative in poor regions of the world.”*

Dos de los generadores analizados en este proyecto fueron conseguidos localmente, uno a base de un alternador para autos modificado (CLE 500) y ampliamente publicado y vendido, y otro diseñado y construido por el Ing. Antonio Clément (CLE 1000), mediante un acuerdo de alquiler.

El primer generador denominado en este documento como CLE 1000, fue elaborado a partir de un motor usado de inducción trifásica de 1.5 hp (equivalente a 1100 W), modificado de acuerdo a lo patentados por el Ing. Antonio Clément. Con este equipo se esperaba generar una potencia nominal de 1000 W. Este generador fue acoplado a una turbina de impulso, tipo "Crossflow", fabricada localmente, bajo la supervisión del Ing. Antonio Clément, y sometido a las pruebas de laboratorio. Esta turbina es la más pequeña de este tipo, que se ha desarrollado hasta el momento, con dimensiones de 6" de diámetro por 4" de ancho. La turbina tiene un eje de 1" y 20 aletas, y la entrada de inyector es de 4" de diámetro (véase Foto 2.1).



**Foto 2.1** Generador de 1000 W con su Turbina "Crossflow"



**Foto 2.2** Generador de 500 W

El segundo generador, denominado en este documento como el CLE 500, fue fabricado a partir de un alternador usado de un auto norteamericano (500 W); se esperaba potencia nominal de 500 W (véase foto 2.2). Cabe resaltar que la conversión del alternador es un diseño hecho en EEUU y muy vendido y promocionado y **NO** es la patente desarrollada por el Ing. Antonio Clément. Sin embargo, por la gran cantidad de riachuelos con bajos saltos y caudales, se ha incluido este generador en el estudio, ya que existen generadores de hasta 200 W de potencia nominal para la electrificación rural de una casa de familia. Esta electrificación rural representa un gran mercado para pico hidro sistemas<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Simon D.B. Taylor, Manuel Fuentes, John Green, Kavita Rai, "Stimulating the Market for Pico-Hydro in Ecuador", IT Power, UK, ESMAP project, 2005(?)

Ambos generadores son equipados con imanes permanentes de NiFeB.

## 2.4 EVALUACIONES TÉCNICAS

Para obtener las especificaciones técnicas del alternador de autos (CLE 500) y el generador de la patente desarrollada por el Ing. Antonio Clément (CLE 1000), se evaluó el desempeño de los equipos mediante pruebas eléctricas e hidráulicas, que fueron comparadas con el desempeño de otros generadores adquiridos en el mercado internacional. A continuación se describen los hallazgos de las pruebas realizadas y las comparaciones del caso.

### 2.4.1 Selección y Adquisición de Sistemas de Pico Hidro Comerciales Internacionalmente

Para comparar el alternador de autos (CLE 500) y el generador de la patente desarrollada por el Ing. Antonio Clément (CLE 1000), se ha seleccionado y adquirido un sistema pico hidro disponible en el mercado internacional. Existen varios fabricantes de sistemas pico hidro, que generalmente son equipados con turbinas Pelton o Turgo, aptas para saltos hidráulicos altos, las cuales no son comparables con las aplicaciones hidráulicas de bajo salto previstas en este estudio. Sin embargo, se han identificado dos fabricantes de sistemas pico hidro, cuyos equipos son comparables con el generador del Ing. Antonio Clément (CLE 1000), estos son:

- Center for Sustainable Energy Development (VSED) – Vietnam

Esta empresa ofrece tres tipos de productos bajo la marca Hydrotec: 200, 500 y 1000 W, de 220 V AC.

En el cuadro 2.5 se presentan las especificaciones técnicas:



Foto 2.3 Turbinas Hydrotec - Vietnam

## Cuadro 2.5 Especificaciones Técnicas de las Turbinas Hydrotec

CARACTERÍSTICA	MHG-200	MHG-500	MHG-1000
Tipo turbina	Hélice abierto de flujo axial	Hélice abierto de flujo axial	Hélice abierto de flujo axial
Tipo generador	Monofásico, imanes permanentes	Monofásico, imanes permanentes	Monofásico, imanes permanentes
Tipo rotor	3 pares de NdFeB imanes	3 pares de NdFeB imanes	3 pares de NdFeB imanes
Potencia nominal	200 W	500 W	1000 W
Carga máxima	250 W	650 W	1200 W
Voltaje	220 V AC	220 V AC	220 V AC
Amperaje nominal	1 A	2.5 A	5 A
Frecuencia @ P <sub>nom</sub>	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz
Velocidad rotor*	1500 rpm	1500 rpm	1200 rpm
Salto (m)	1.4 – 1.6 m	1.4 – 1.6 m	1.4 – 1.6 m
Caudal (l/s)	35 l/s	70 l/s	130 l/s
Diámetro hélice	120 mm	180 mm	220 mm
Eficiencia	52%	52%	54%
Diámetro cable estator	0.5 mm	0.7 mm	1.0 mm
Peso	16 kg	32 kg	75 kg
Altura	68 cm	78 cm	92 cm
Diámetro máquina	20 cm	30 cm	42.5 cm
Tamaño balineras	6203	6204	6206

\* Sin carga (al vacío)

- Energy Systems & Design Ltd. (ES&D) – Canada

Esta empresa ofrece dos tipos de turbinas: la “Stream Engine” y la “LH1000” con un generador de 1000 W. La Stream Engine es apta para saltos entre 3 y 150 m, generando entre 150 W hasta 1900 W máximo, dependiendo del flujo de agua. La LH 1000 es una turbina de bajo salto (Low Head) apta para alturas entre 0.6 m y 3 m, la cual es más comparable con el sistema pico hidro del Ing. Clément.



Foto 2.4 Turbina LH 1000

Aunque no todas las especificaciones técnicas están disponibles en la información del fabricante, se pudo establecer que está conformada por un generador de inducción con imanes permanentes acoplado a una turbina de hélice de flujo axial, mediante un eje vertical, similar a las turbinas Hydrotec. El generador es monofásico y está disponible en 12 o 24 V, con un inversor (opcional) para generar 120 V o 240 V AC. El diámetro de la hélice es de 125 mm.

El desempeño de la LH 1000 se muestra en el cuadro 2.6:

**Cuadro 2.6 Desempeño de las Turbinas ES&D – LH 1000**

SALTO (m)	CAUDAL (l/s)	POTENCIA (W)
0.30	20.16	25
0.61	28.35	70
0.91	34.65	150
1.22	40.01	250
1.52	44.73	350
1.83	48.83	465
2.13	52.92	585
2.44	56.39	715
2.74	59.85	850
3.05	63.00	1000

En base a la información descrita anteriormente, se decidió adquirir el sistema micro hidro de la marca Hydrotec de Vietnam, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los sistemas micro hidro de Hydrotec son (mucho) más baratos que el sistema de ES&D
- Los sistemas micro hidro de Hdrotec han sido aplicados en áreas rurales, tanto en Asia como en América Latina
- Los sistemas micro hidro de Hydrotec tienen una turbina apta para saltos mínimos (1.5 m), inferiores a los del sistema LH 1000 de ES&D





- La curva de potencia del sistema LH 1000 está disponible, lo que forma una base de comparación con los generadores del Ing. Antonio Clément.

#### 2.4.2 Pruebas Eléctricas

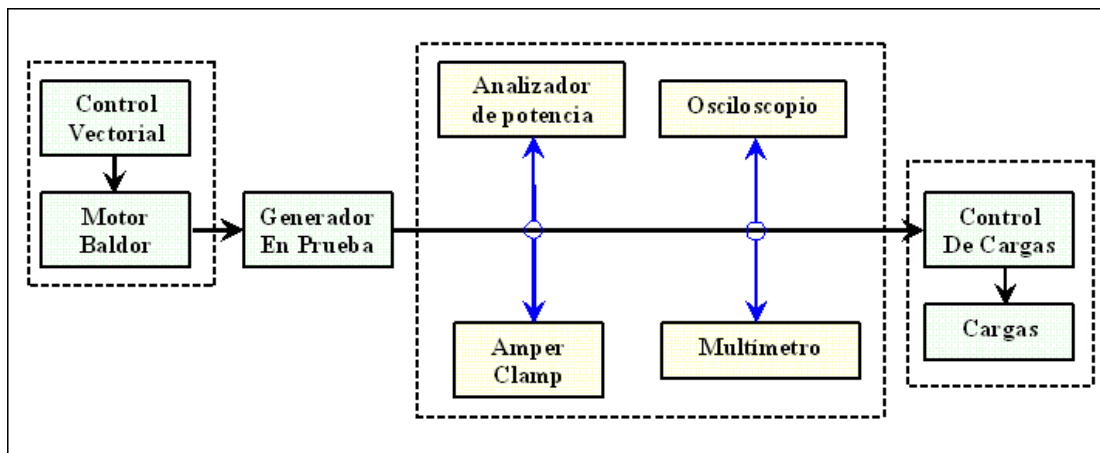
Las pruebas eléctricas fueron realizadas en el laboratorio de Energía del Centro de Investigación Experimental de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se les realizaron pruebas eléctricas al alternador de auto modificado (CLE 500) y el generador de bajas revoluciones desarrollado por el Ing. Antonio Clément (CLE 1000), y para efectos comparativos, a los 2 generadores Hydrotec que fueron adquiridos con recursos del proyecto:

- Generador del sistema micro hidro de un alternador modificado de 500 W (CLE 500)
- Generador del sistema micro hidro de Antonio Clément de 1000 W (CLE 1000)
- Generador del sistema micro hidro de Hydrotec de 500 W (MHG 500)
- Generador del sistema micro hidro de Hydrotec de 1000 W (MHG 1000)

La ficha de las pruebas eléctricas realizadas a los equipos se presenta en el Anexo A.

En la Figura 2.9 se muestra la configuración del Banco de Pruebas utilizado por el laboratorio:

**Figura 2.4 Configuración del Banco de Pruebas del laboratorio**



Los cuadros y gráficas que sintetizan los resultados de las pruebas eléctricas, se presentan en el Anexo B.

A continuación se muestran algunas fotos de la ejecución de las pruebas eléctricas en el laboratorio de energía de la UTP.



Foto 2.5 Pruebas Realizadas al Equipo CLE 1000



Foto 2.6 Pruebas Realizadas al Equipo CLE 1000



Foto 2.7 Pruebas Realizadas al Equipo MHG 1000



Foto 2.8 Pruebas Realizadas al Equipo MHG 500

En la figura 2.5 se muestra la potencia eléctrica generada versus la velocidad de rotación de la turbina/rotor, para cada uno de los equipos; y en la figura 2.6 se muestra la eficiencia eléctrica de cada generador dependiendo de la velocidad de rotación.

Figura 2.5 Potencia en Watt versus Velocidad de Rotación en RPM

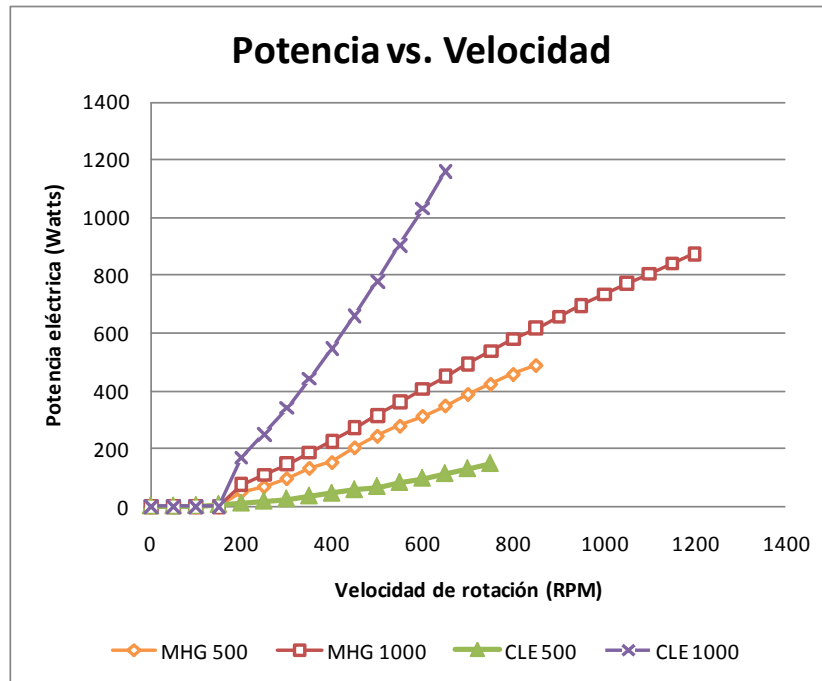
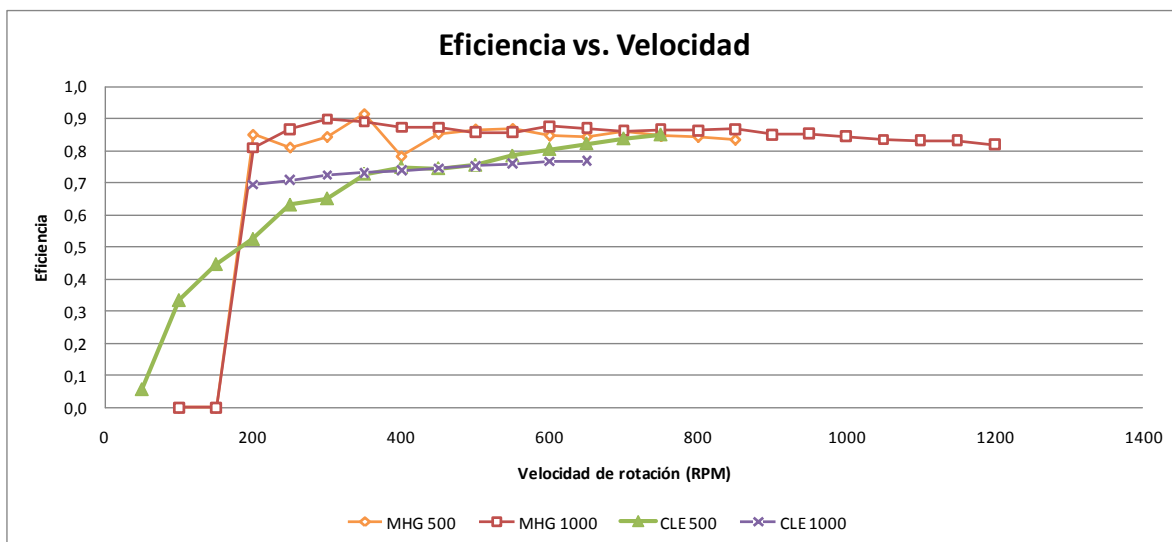


Figura 2.6 Eficiencia versus Velocidad de Rotación en RPM



De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar lo siguiente:

- El alternador de auto modificado de 500 W y el generador desarrollado por el Ing. Antonio Clement de 1000 W, muestran una potencia máxima de 147 (CLE 500) y 1161 W (CLE 1000), respectivamente.
- El CLE 500 no produce la potencia nominal esperada, ya que solo fue del 29%, con una velocidad de rotación de 750 rpm. Cabe resaltar, que el CLE 5000, es un alternador de carro modificado y no está diseñado por Ing. Antonio Clément, que describe la conversión de un motor de inducción a un generador de imanes permanentes de bajas revoluciones. En cuanto a la eficiencia se puede deducir que la misma alcanza un 75% a revoluciones bajas (< 500 rpm) y sube hasta lograr su máxima eficiencia del 85% a 750 rpm. Este generador al ofrecerlo en el mercado tendrá que ser por una potencia nominal de 200 W.
- El generador CLE 1000 generó el 116% de su potencia nominal esperada, a tan solo 650 rpm, sobrepasando las expectativas. No se subió más la velocidad para no sobrecargar el generador. La eficiencia eléctrica varía entre 69% y 77%, variando ligeramente a velocidades de rotación mayores.
- Los generadores Hydrotec de 500 y 1000 W producen una potencia máxima de 490 (MHG 500) y 874 W (MHG 1000). El MHG 500 genera el 98% de la potencia nominal, con una velocidad de rotación de 850 rpm, mientras que la velocidad de rotación nominal es de 1500 rpm. Sin embargo, no se aumentó la velocidad de rotación para prevenir daños en el generador, ya que la carga máxima es de 650 W<sup>14</sup>. Se puede concluir que el generador MHG 500 sobrepasa sus especificaciones al generar 490 W a 850 rpm. En cuanto a la eficiencia eléctrica se comprobó que varía entre 78% y 91%, con un promedio de 85% a velocidades mayores de 450 rpm.
- Por otro lado, el generador MHG 1000 logra el 87% de su potencia nominal con la velocidad de rotación nominal de 1200 rpm. No se subió más la velocidad para no sobrecargar el generador. La eficiencia eléctrica varía entre 81% y 90%, con un promedio de 85% a velocidades mayores, aunque la misma tiende a bajar algo a velocidades mayores de 1000 rpm.

Comparando los resultados de los 4 generadores, se puede concluir lo siguiente:

- Entre el MHG 500 y el CLE 500, el MHG 500 sobrepasa las especificaciones técnicas, mientras el CLE 500 no produce la potencia esperada. El MHG produce 425 W contra 147 W para el CLE 500 a 750 rpm (una generación de 190% más o casi el triple de la potencia). La eficiencia del CLE 500 es menor a velocidades bajas, que la del MHG 500, aunque a velocidades mayores las eficiencias son comparables.

<sup>14</sup> En una prueba preliminar se logró 580 W con una velocidad de 1000 rpm.



- Entre el MHG 1000 y el CLE 1000, se comprobó que el CLE 1000 es superior en cuanto a la potencia generada. El CLE 1000 genera 1161 W contra 450 W para el MHG 1000 a 650 rpm (158% más potencia o 2.5 veces mayor). La eficiencia eléctrica del CLE 1000 es menor, al ser 10% (en términos absolutos) menor que la del MHG 1000 (77% contra 87%).

Los resultados de las pruebas eléctricas para el generador CLE 1000 son muy prometedoras, ya que supera sustancialmente, los resultados de un generador comercialmente disponible, como lo es el Hydrotec MHG 1000. Estos dos generadores acoplados a sus respectivas turbinas, se sometieron a pruebas hidráulicas, donde se pudo comparar la generación de potencia a partir de la rotación de la turbina, que fue causada por un flujo de agua.

Tomando en consideración que el generador CLE 500 no está amparado por la patente del Ing. Antonio Clément, que no cuenta con una turbina hidráulica fabricada, y que genera una potencia nominal de 200 W, se tomó la decisión de no proceder con las pruebas hidráulicas para los sistemas de micro hidro de 500 W. Además, el objeto de este estudio era conocer el desempeño del generador desarrollado por el Ing. Antonio Clément basado en la patente de conversión de un motor de inducción a un generador, como es el caso de la CLE 1000.

### 2.4.3 Pruebas Hidráulicas

A continuación se presentan los resultados de las pruebas hidráulicas realizadas a los sistemas de pico hidro de Hydrotec MHG 1000 y del Ing. Antonio Clément CLE 1000.

Para conocer las curvas de potencia de los sistemas pico hidro (generador y turbina), los equipos fueron sometidos a pruebas hidráulicas en el Laboratorio de Turbo Maquinaria de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). A continuación se resume los resultados de dichas pruebas. El informe completo que elaboró la UTP se presenta en el Anexo C.

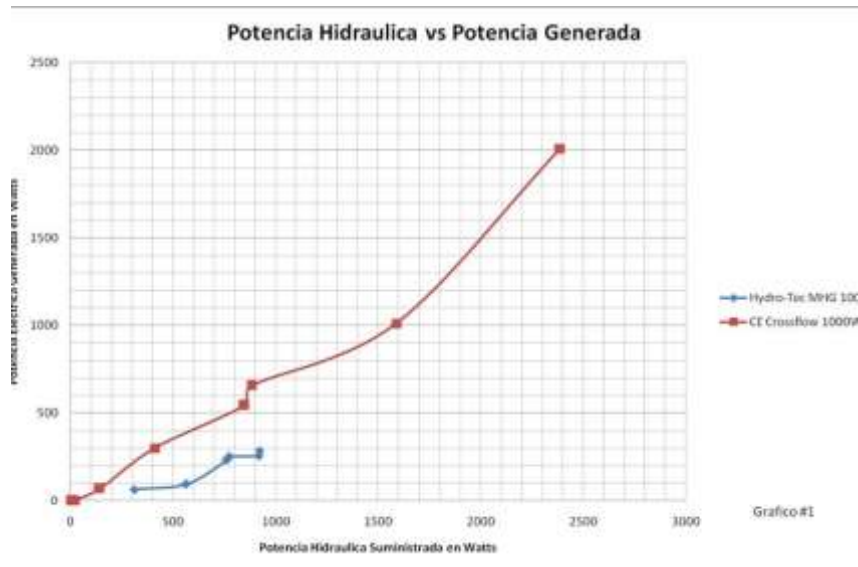
El objetivo de las pruebas hidráulicas era conocer los rendimientos de la turbina MHG-1000 y la turbina CLE 1000, a partir de:

- La potencia hidráulica suministrada vs potencia eléctrica generada
- La evaluación de la eficiencia de cada turbina

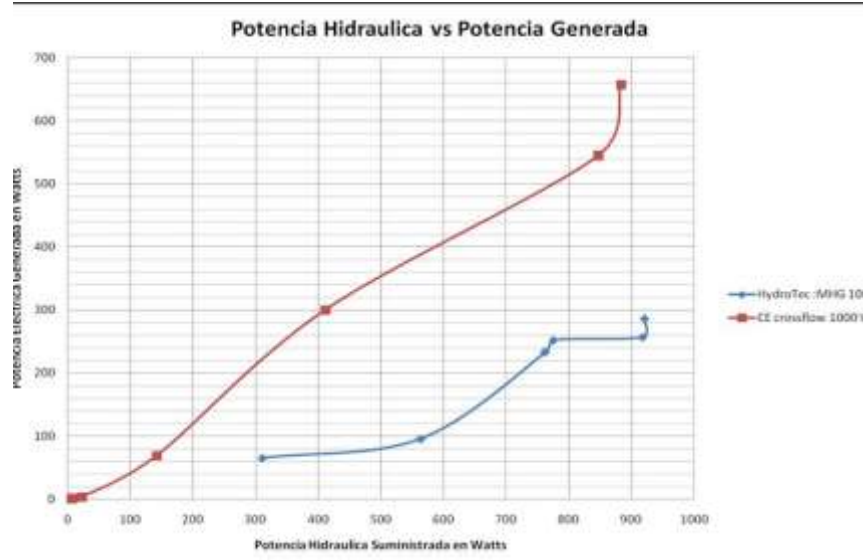
En las figuras 2.7 y 2.8 se muestran la potencia eléctrica generada versus la potencia hidráulica aplicada de ambas turbinas.



**Figura 2.7 Potencia Eléctrica Generada versus Potencia Hidráulica Suministrada**

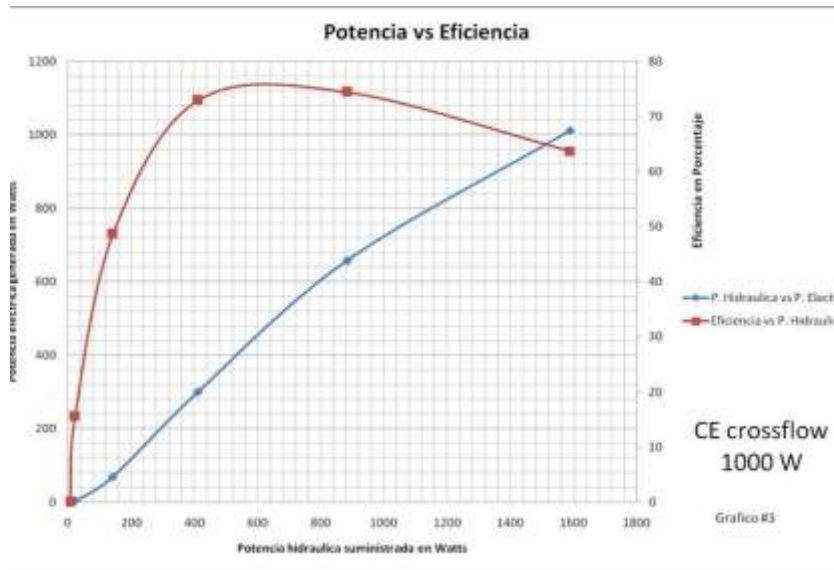


**Figura 2.8 Potencia Eléctrica Generada versus Potencia Hidráulica Suministrada**

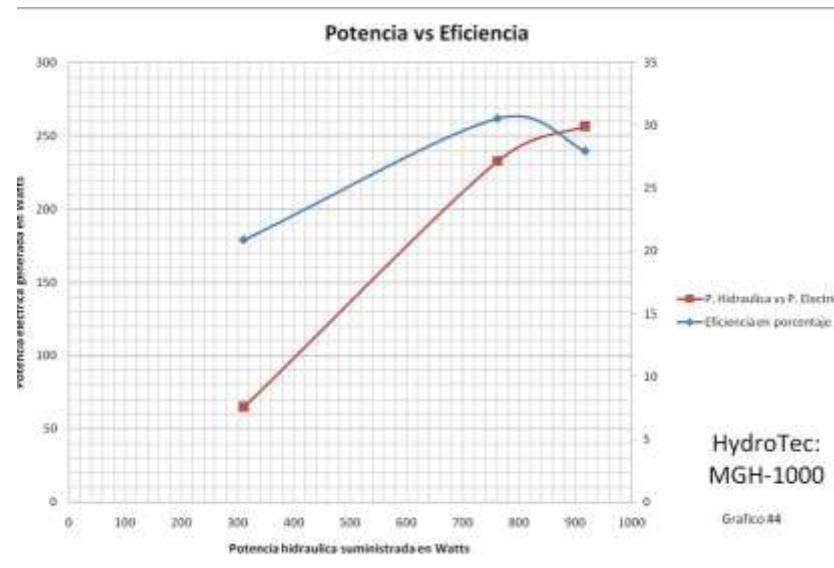


En las figuras 2.9 y 2.10 se muestra el comportamiento de la potencia eléctrica generada (en W) y la eficiencia (en %) de las turbinas CLE 1000 y MHG 1000.

**Figura 2.9 Potencia Eléctrica Generada y Eficiencia versus Potencia Hidráulica Suministrada (CLE 1000)**



**Figura 2.10 Potencia Eléctrica Generada y Eficiencia versus Potencia Hidráulica Suministrada (MHG 1000)**



Las pruebas hidráulicas muestran que la turbina CLE 1000 genera hasta 2.0 kW de máxima potencia eléctrica, a partir del suministro 2.4 kW de potencia hidráulica

(correspondiente a un salto de 8.7 m y un caudal de 28 l/s). Con una potencia hidráulica de 1.6 kW (salto de 7.1 m y un caudal de 25 l/s) se generan unos 1.25 kW. Esta potencia nominal muestra inclusive, que por la conversión del motor de inducción con imanes permanentes, el campo magnético generado aumentó, resultando en una potencia nominal mayor que la del motor original. En cuanto a la eficiencia total de la turbina, se alcanzan valores por encima del 70%, a partir de 300 W de generación eléctrica, bajando hasta un 66% con una generación eléctrica de 1000 W.

La turbina MHG-1000 no muestra el desempeño esperado, al generar solamente 250 W con una potencia hidráulica de 800 a 900 W (correspondiente a un salto de 1.5 a 1.6 m). Sin embargo, el caudal máximo fue de 60 litros por segundo, mientras que el caudal de diseño es de 130 l/s. No se logró un mayor caudal durante las pruebas, por razones de fuertes turbulencias en la entrada de la turbina. La eficiencia de esta turbina resultó baja con un valor alrededor del 30% (eficiencia según el fabricante es de 54%).

Lo anterior obedece a que el tipo de instalación de la turbina MHG 1000, que se realizó en el laboratorio de Turbo Maquinaria de la UTP, no corresponde con la instalación sugerida por el fabricante en el campo. En el laboratorio se utilizó un tanque de 55 Gal como medio de suministro del flujo de agua, lo que generó mucha turbulencia en el tanque. Según el manual de instalación de esta turbina, lo adecuado es suministrar el agua mediante un canal, donde la turbulencia del agua sea mínima, lo que permitiría lograr mayores potencias y eficiencias del equipo.

Por lo tanto, una comparación entre las dos maquinas en base de las pruebas hidráulicas, no es adecuada. Sin embargo, si se compara el promedio de la eficiencia total entre ambas maquinas, el CLE 1000 arrojó en los datos del laboratorio una eficiencia de 70% vs un 54% que informa el fabricante de la maquina Hydrotec en sus especificaciones.

A continuación se muestran algunas fotos de la ejecución de las pruebas hidráulicas en el laboratorio de Turbo Maquinaria de la UTP.







Foto 2.9 MHG 1000 en Sistema de Prueba



Foto 2.10 Turbina MHG 1000 Dentro del Tanque



Foto 2.11 CLE 1000 en Sistema de Prueba



Foto 2.12 Conexión de Tubería Turbina CLE 1000

## 3. ANALISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se han considerado dos aspectos: los costos de inversión y operación de sistemas pico y micro hidro a nivel mundial, y los costos de fabricación del equipo patentado por el Ing. Clément.

### 3.1 COSTO DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Un estudio elaborado por el Banco Mundial en el año 2007<sup>15</sup>, estima el costo de inversión y operación de pequeñas centrales hidroeléctricas. En los cuadros 3.1 y 3.2 se muestran los costos específicos de inversión y operación de sistemas pico y micro hidro, para tres potencias diferentes: 300 W, 1 kW y 100 kW.

**Cuadro 3.1 Costos de Inversión de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (US\$/kW)**

Items/Models	300 W	1 kW	100 kW
Equipment	1,560	1,960	1,400
Civil	-	570	810
Engineering	-	-	190
Erection	-	140	200
<b>Total</b>	<b>1,560</b>	<b>2,670</b>	<b>2,600</b>

Note: "-" means no cost needed.

<sup>15</sup> "Technical and Economic Assessment of Off-grid, Mini-grid and Grid Electrification Technologies", ESMAP Technical Paper 121/07, The World Bank, December 2007

**Cuadro 3.2 Costos de Operación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (US\$/kWh)**

Items/Models	300 W	1 kW	100 kW
Levelized Capital Cost	14.24	12.19	9.54
Fixed O&M Cost	0.00	0.00	1.05
Variable O&M Cost	0.90	0.54	0.42
Fuel Cost	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>15.14</b>	<b>12.73</b>	<b>11.01</b>

Según el mismo estudio, las proyecciones de los costos para el año 2010, indican que un sistema de 1 kW, puede representar una inversión de aproximadamente US\$ 2,575.00 con una variación de  $\pm 20\%$ . Estos costos son calculados a partir de los siguientes supuestos de diseño:

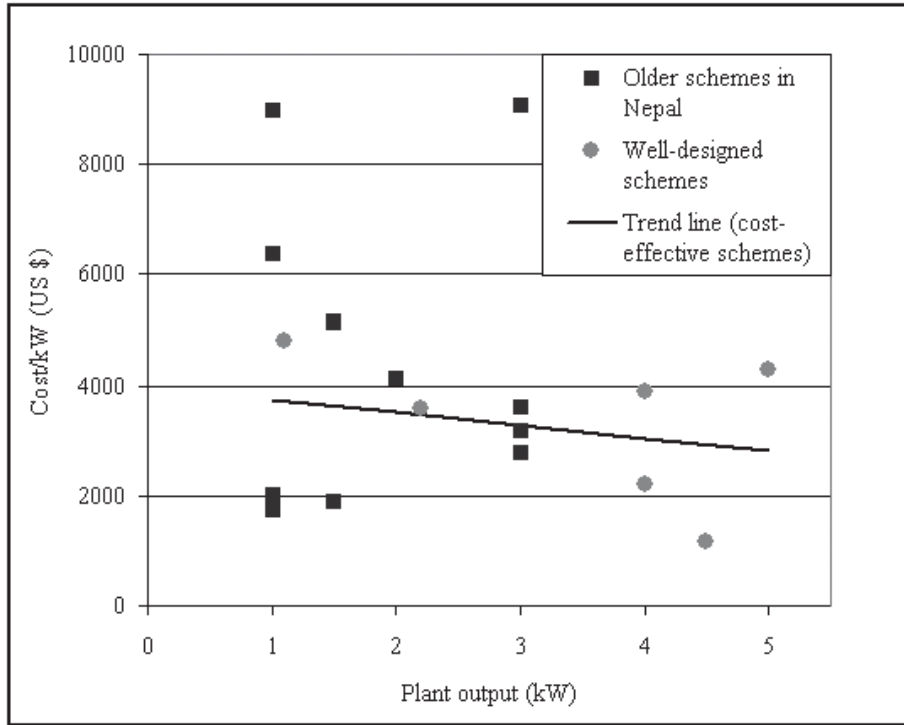
- Factor de Potencia 30% (Vida Útil 15 años)
- Energía Generada 2628 kWh/año

En una publicación de Arthur Williams<sup>16</sup> se menciona un costo de inversión promedio de US\$ 3,000.00/kW de potencia máxima instalada para sistemas diseñados correctamente, a pesar de grandes variaciones en los costos encontrados en la práctica. En la Figura 3.1 se presenta la gráfica de costos de inversión del estudio de Arthur Williams<sup>13</sup>.

<sup>16</sup> Arthur Williams, "Pico hydro for cost-effective lighting", Boiling Point, (publ. by Household Energy Network), No. 53, Mayo 2007, pp 14-16



**Figura 3.1 Costos (US\$/kW) de Inversión de Varios Sistemas Pico Hidro Instalados**



De la figura anterior, se puede deducir que los costos de inversión estimados para un sistema de 1 kW, llegan a casi US\$ 4,000.00 y que tienden a bajar a medida que aumenta la capacidad instalada.

Otra referencia sobre los costos reales de instalación de un sistema pico hidro, es un estudio de mercado para pico hidro en la región Andina<sup>17</sup> específicamente en Ecuador. En el cuadro 3.3 se muestra el desglose de los costos obtenidos en este estudio, basados en los sistemas fabricados en Vietnam.

<sup>17</sup> Simon D.B. Taylor, Manuel Fuentes, John Green, Kavita Rai, "Stimulating the Market for Pico-Hydro in Ecuador", IT Power, UK, ESMAP project, 2005(?)

**Cuadro 3.3 Costos de Inversión de Sistemas Pico Hidro Instalados de 200 W**

CATEGORÍA	COSTO (US\$)	%	COSTO (US\$/kW)
Hydrotec MHG-200	145.00 <sup>18</sup>	29,4%	
Flete e Importación	51.27 <sup>19</sup>	10,4%	
Tubo de salida	70.00	14,2%	
Materiales Obra Civil	67.79	13,8%	
Infraestructura Eléctrica	107.81	21,9%	
Mano de Obra Instalación	50.50	10,3%	
<b>TOTAL</b>	<b>492.37</b>	<b>100,0%</b>	<b>2461.85</b>

De acuerdo a lo anterior, las referencias internacionales consultadas muestran que se puede esperar un costo de inversión para un sistema pico hidro de 1 kW (instalado en sitio) entre US\$ 2,500.00 y US\$ 4,000.00. Del 30% al 50% del costo total, corresponde a la instalación del sistema pico hidro (obra civil y eléctrica y mano de obra).

Como modo de comparación, en el cuadro 3.4 se muestran los costos reales de los sistemas de pico hidro adquiridos en Vietnam y transportados a Panamá.

**Cuadro 3.4 Costos de Compra y Transporte de las Pico Hidro Turbinas Hydrotec Adquiridas para el Estudio**

FABRICANTE	COSTO (US\$)
Hydrotec MHG-200	295*
Hydrotec MHG-500	480*
Hydrotec MHG-1000	890*
Flete e importación**	1452.74
<b>TOTAL</b>	<b>3117.74</b>

Sin tubo de salida ("outlet" o "draft tube")

\*\* Incluye todos los fletes, impuestos de importación, corredor de aduana y costos bancarios

Este costo corresponde a US\$ 1,834.00/kW y tomando en cuenta un costo de instalación del 50% del costo total, este costo total sería \$ 3,668.00/kW<sup>20</sup>, estando el costo dentro del rango mencionado hasta \$ 4,000/kW.

<sup>18</sup> El costo mencionado en la referencia 14 parece ser bajo, ya que la MHG-200 fue adquirido en este proyecto actual por \$ 295.00FOB (véase cuadro 3.4)

<sup>19</sup> El costo de flete e importación fue pro rateado por turbina y bajaría al comprar en lotes grandes.

### 3.2 ESTIMACIÓN COSTOS DE FABRICACIÓN SISTEMA DE PICO HIDRO CLE 1000

Para la determinación de los costos de fabricación del sistema de pico hidro fabricado localmente en Panamá bajo la supervisión del Ing. Antonio Clément, se han considerado los costos reales de fabricación de un prototipo del generador de 1000 W (CLE 1000), la turbina Banki (crossflow) y el ensamblaje del conjunto con una carcasa y chasis. En el cuadro 3.5 se presentan los costos obtenidos.

**Cuadro 3.5 Costos Estimados del Sistema Pico Hidro CLE 1000 (Prototipo de Fabricación Manual)**

COMPONENTE	ASPECTO	COSTO (US\$)
Generador	Motor 1.5Hp trifásico WEG	450
	Desarmado	50
	Corte de rotor	75
	Magnetos	300
	Acero epóxico	5
	Ensamblaje	130
Turbina Crossflow	Materiales del rodete	50
	Uso de soplete, soldadura	45
	Uso de torno	155
Carcasa y Chasis	Materiales carcasa y chasis	65
	Soldadura (6011) 5 lbs	5
	Brida de 4"	30
	Eje de acero calibrado (16" largo)	40
	2 Balineras puente de 1" NRT tipo industrial	70
	Tornillería inoxidable	18
	Acople industrial LH 1000	36
	Pintura epóxica	35
	Mano de Obra Acoplamiento	230
Ensamblaje	Acoplamiento Componentes	180
<b>TOTAL</b>		<b>US \$ 1.969</b>

Cabe resaltar que estos costos corresponden a la fabricación de un prototipo de forma manual.

<sup>20</sup> Por tratarse de 3 turbinas, se ha tomado el límite superior para los costos de instalación (50% del total). Inclusive este costo podría ser mayor en la realidad.

Para conocer los costos totales de la fabricación en serie de este sistema de pico hidro, se ha estimado una cantidad de 100 unidades. Los resultados de esta estimación se presentan en el cuadro 3.6

**Cuadro 3.6 Costos Estimados del Sistema Pico Hidro CLE 1000 (Prototipos con Fabricación en Serie de 100 Unidades)**

COMPONENTE	ASPECTO	COSTO (US\$)
Generador	Motor 1.5Hp trifásico WEG	150
	Desarmado	5
	Corte de rotor	30
	Magnetos	50
	Acero epóxico	5
	Ensamblaje	20
Turbina Crossflow	Materiales del rodete	20
	Uso de soplete, soldadura	5
	Uso de torno	45
Carcasa y Chasis	Materiales carcasa y chasis	30
	Soldadura (6011) 5 lbs	5
	Brida de 4"	22
	Eje de acero calibrado (16" largo)	20
	2 Balineras puente de 1" NRT tipo industrial	25
	Tornillería inoxidable	15
	Acople industrial LH 1000	29
	Pintura epóxica	5
Mano de Obra Acoplamiento	50	
Ensamblaje	Acoplamiento Componentes	30
<b>TOTAL</b>		<b>US \$ 561.00</b>

Se puede concluir de los cuadros 3.5 y 3.6 que el costo total para una fabricación en serie, bajaría a \$ 561.00 (un factor 3.5 menos). Tomando en cuenta un costo de instalación del 50% del costo del sistema, el costo total sería **US\$ 1,121.00**. Este costo estimado está muy por debajo del rango de \$2,500 – 4,000/kW, mencionado anteriormente y da un margen amplio para la comercialización de este producto.

Cabe resaltar, que otro variable asociada a los costos de operación y mantenimiento es la vida útil del generador y su turbina. Utilizando motores eléctricos robustos como materia prima para el generador, se espera obtener una

vida útil mayor a los 5 años, la cual es la referencia en el estudio del Banco Mundial. Los generadores podrán tener una vida útil de 15 años o inclusive más, ya que son muy compactos y resistentes.





## 4. FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PICO HIDRO GENERADOR

A partir de los resultados favorables de las pruebas en laboratorio, se procedió a la fabricación de un generador con un motor trifásico industrial de la misma potencia y configuración (1000 watts), que el anterior, pero con características mejoradas de eficiencia y tamaño

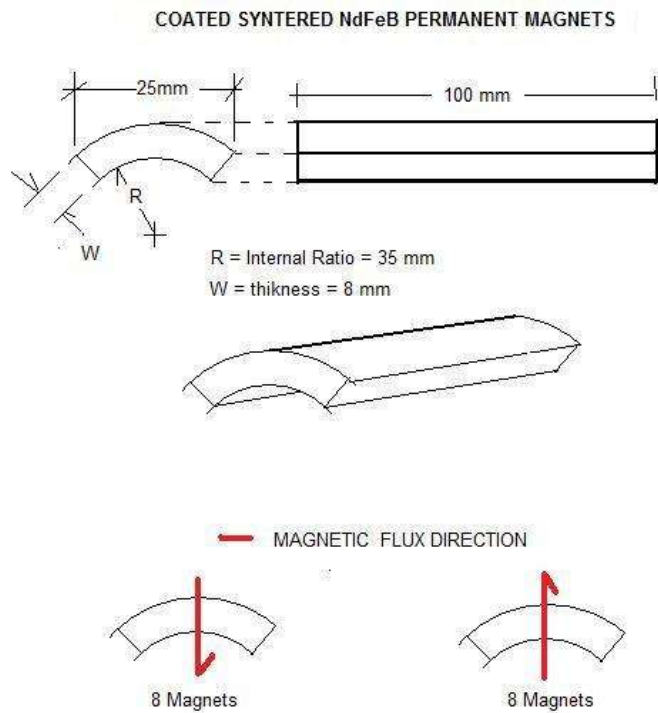
El generador CLE 1000 utilizado en las pruebas de laboratorio fue construido a partir de un motor con 25 años de antigüedad, muy robusto, de diseño italiano marca MILANO con capacidad de generación nominal de 1000 watts, 220/440 volts en conexión estrella, y con dimensión y peso muy superiores al que será utilizado para el nuevo diseño.

Para el nuevo prototipo del pico hidro generador, se ha utilizado un motor nuevo, tipo industrial trifásico, de diseño americano, marca WEG, de pequeñas dimensiones y muy liviano, con potencia nominal de 1000 watts (220/308 volts) en conexión estrella.

Para este equipo se necesitaba adquirir un nuevo grupo de imanes permanentes, conformado por 8 imanes para el nuevo motor WEG. Sin embargo, al momento de adelantar la compra, el fabricante informó que no había disponibilidad de los elementos, debido a una fuerte alza en los precios de la materia prima, específicamente del Neodymium (véase correo electrónico en el Anexo D).

Para no afectar el resultado final del estudio, se utilizaron otros imanes permanentes del Ing. Antonio Clément, así como otros materiales requeridos. Las características y dimensiones de los imanes utilizados para el prototipo, son las que se indican en la figura 4.1

**Figura 4.1 Características y Dimensiones de los Imanes Permanentes Utilizados en el Nuevo Prototipo del Pico Hidro Generador**



A continuación se muestra el proceso de conversión del motor a generador, acompañado por fotos secuenciales.

Foto 4.1 Una vez adquirido el nuevo motor se inicia su desarme y se retiran los tornillos y las tapas del estator



Foto 4.2 El estator sin el rotor

Foto 4.3 El rotor es preparado para recibir los imanes permanentes



Foto 4.4 Se colocan los primeros cuatro imanes, se debe esperar un tiempo mínimo de 2 horas entre la colocación de un imán y otro para que el pegamento seque bien.



**Foto 4.5 Los primeros 4 imanes colocados en su lugar en el rotor**



**Foto 4.6 Se termina de colocar los 8 imanes, utilizando un pegamento de acero epóxico**

Luego de montar el rotor dentro del estator, se termina la fase de conversión del motor a generador, el cual puede ser acoplado a cualquier tipo de turbina eólica o hidráulica de bajas revoluciones.

Las características del nuevo generador se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Componentes de alta calidad (durable)
- Fácil y económica instalación, no necesita infraestructuras especiales
- Silencioso, robusto y confiable
- Sin altas vibraciones, ni picos de corriente
- Muy bajo rizo de par (cogging torque)
- Herméticamente sellado lo que impide la entrada de humedad
- Sistema de capacitores incorporados, lo que produce un voltaje estable
- Bajo mantenimiento (engrase cada 4 a 6 meses de uso constante)
- Galardonado con WIPO GOLD MEDAL y ENERGY GLOBE

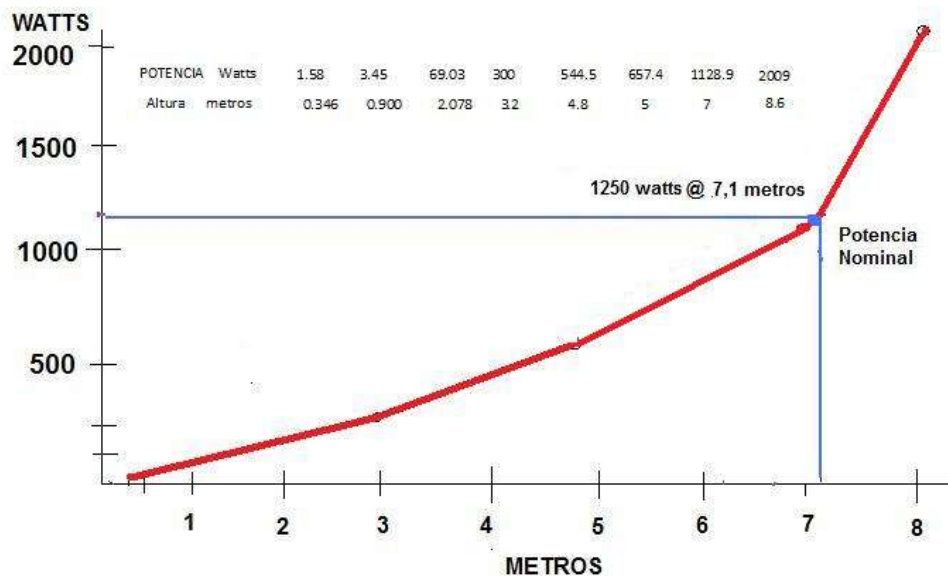
Las especificaciones técnicas del nuevo prototipo, denominado CE 1250, se muestran en el cuadro 4.1

**Cuadro 4.1 Especificaciones Técnicas del Sistema Pico Hidro CE 1250**

CARACTERÍSTICA	CE 1250
Tipo turbina	6 " Cross-Flow con 20 aletas
Tipo generador	1,5 Hp WEG motor industrial Trifásico con imanes permanentes
Tipo rotor	4 pares de NdFeB imanes
Potencia nominal	1250 W
Voltaje	220 V AC / 460 V AC
Amperaje nominal	2.38 A @ 460 V
Frecuencia @ P <sub>nom</sub>	50 – 60 Hz
Velocidad rotor	800 rpm
Salto (m)	1 – 50
Caudal (l/s)	85 - 425
Eficiencia	68 % @ 1000 W
Peso	150 lb
Dimensiones	40 x 18 x 26 pulgadas

La curva de potencia elaborada a partir de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, se muestra en la figura 4.2.

**Figura 4.2 Curva de Potencia del Sistema Pico Hidro CE 1250 W**



Las ventajas que ofrece este prototipo CE 1250, desarrollado en combinación con una turbina “cross flow” hecha a la medida, son:

- La turbina “cross flow” es de acero galvanizado soldado y por lo tanto tiene una carcasa de construcción robusta
- El generador es trifásico, robusto de uso industrial, con espaciamiento entre magnetos de solo  $\frac{1}{4}$ ”, y con un arreglo de capacitores, que se traduce en una maquina silenciosa, de voltaje estable, sin picos, con un requerimiento de torque muy bajo para iniciar a girar (que se traduce en un bajo caudal de agua)
- El generador está basado en un motor trifásico de calidad certificada CE, UL, NEMA
- El generador tiene un recubrimiento anti oxido interno y está sellado para evitar daños por la humedad
- Utiliza balineras industriales de alta calidad, tipo puente, fabricadas en Japón, con pistas de acero inoxidable
- Toda la tornillería de la maquina es de acero inoxidable.

El equipo CLE 500 no fue sometido a pruebas hidráulicas, ya que no está patentado; y tampoco se determinaron los costos de una posible fabricación, en conjunto con una turbina crossflow hecha a la medida. Sin embargo, considerando el amplio mercado de pico hidro sistemas en el mundo, vale la pena resaltar que el CLE 500, renombrado como CE 200, podría ser una opción viable para competir frente a equipos de especificaciones similares a las del generador Hydrotec MHG 200.



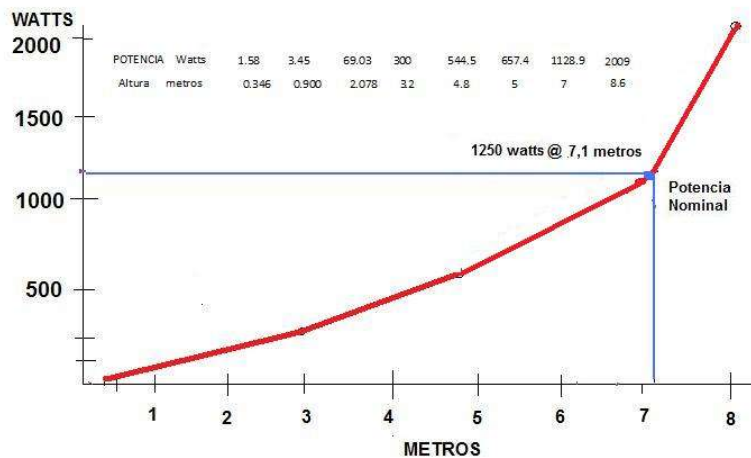
## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 GENERADOR/TURBINA CLE 1000

Las pruebas eléctricas muestran un buen desempeño del generador CLE 1000, fabricado a partir de la patente del Ing. Antonio Clément, ya que se logra generar 1161 W a 650 RPM. La eficiencia eléctrica varía entre 69% y 77%, subiendo ligeramente a velocidades de rotación mayores. Comparando estos datos con las mediciones del generador Hydrotec MHG 1000 se puede concluir que el CLE 1000 es superior en cuanto a la potencia generada, lográndose un 158% más de potencia o 2.5 veces mayor a 650 RPM.

Las pruebas hidráulicas confirman el buen desempeño del generador CLE 1000 en conjunto con la turbina “crossflow”, al generar una máxima potencia de 2000 W a 8.7 m de salto hidráulico y una potencia nominal de 1250 W a 7.1 m. Esta potencia nominal muestra inclusive, que por la conversión del motor de inducción con imanes permanentes, el campo magnético generado aumentó, resultando en una potencia nominal mayor que la del motor original.

La curva de potencia desarrollada del nuevo prototipo CE 1250 se muestra a continuación:



Además del desempeño técnico del generador, el análisis económico muestra un costo por unidad de \$ 561.00, basados en la estimación de la fabricación de 100 ejemplares. Ese costo resulta en un costo total del sistema pico hidro con este generador/turbina de \$ 1,121.00 instalado. Ese dato se traduce en un costo de \$ 897.00/kW instalado, muy por debajo del rango de \$ 2,500 – 4,000/kW, que se ha encontrado en referencias bibliográficas de sistemas existentes en el mercado y da un margen amplio para la comercialización de este producto.

Las ventajas que ofrece este prototipo CE 1250, desarrollado en combinación con una turbina “cross flow” hecha a la medida, son:

- La turbina “cross flow” es de acero galvanizado soldado y por lo tanto tiene una carcasa de construcción robusta
- El generador es trifásico, robusto de uso industrial, con espaciamiento entre magnetos de solo ¼”, y con un arreglo de capacitores, que se traduce en una maquina silenciosa, de voltaje estable, sin picos, con un requerimiento de torque muy bajo para iniciar a girar (que se traduce en un bajo caudal de agua)
- El generador está basado en un motor trifásico de calidad certificada CE, UL, NEMA
- El generador tiene un recubrimiento anti oxido interno y está sellado para evitar daños por la humedad
- Utiliza balineras industriales de alta calidad, tipo puente, fabricadas en Japón, con pistas de acero inoxidable
- Toda la tornillería de la maquina es de acero inoxidable.

En resumen, el generador CE 1250 muestra resultados muy prometedores para lograr una posible comercialización como parte del mercado de pico hidro sistemas. Se recomienda adelantar estudio de factibilidad que permita validar todos los aspectos y variables relevantes, para determinar la oportunidad de desarrollar a nivel nacional, una producción en serie de este generador, financiado por parte de un grupo corporativo privado, o por un programa de desarrollo privado – estatal (Electrificación Rural) , o por un organismo internacional (ONU, USAID, JICA, SG-SICA, Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica etc.) con el fin de llevar una solución energética a todas esas comunidades apartadas de la red eléctrica.





Cabe resaltar que en el año 2005, el Ing. Antonio Clément fue galardonado como el mejor inventor de Panamá otorgándole la medalla de oro por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (*World Intellectual Property Organization*) en Ginebra, Suiza.



Además, el invento “Proceso de Conversión de Motores de Inducción Trifásicos en Generadores de Bajas Revoluciones y Flujo Radial utilizando Magnetos Permanentes para Aplicaciones Eólicas E Hidráulicas”, ha sido galardonado con el 3<sup>er</sup> premio en la Categoría Fire del Energy Globe Award en la Unión Europea del año 2006.



Por último, considerando el amplio mercado de pico hidro sistemas en el mundo, vale la pena resaltar que el alternador modificado de autos (CLE 500), renombrado como CE 200, podría ser una opción viable para competir frente a equipos de especificaciones similares a las del generador Hydrotec MHG 200.

## 6. ANEXOS



## ANEXO A

### PRUEBAS DE LABORATORIO DE PICO HIDRO GENERADORES ELÉCTRICOS

#### Objetivo:

Realizar pruebas a cuatro generadores eléctricos proporcionados por el Ing. Brunia, con el fin de determinar su eficiencia y los parámetros eléctricos de salidas.

#### Metodología:

Como primer paso los cuatro generadores que serán sometidos a evaluación deberán reposar dentro de las instalaciones del Laboratorio de Energía. Luego a se realizarán un levantamiento técnico de los datos de fabricante de cada generador (si poseen alguna). A partir de esta información se realizará el diseño de los acoples mecánicos entre el generador a prueba y el motor de control vectorial. Se debe aclarar que el acople se diseñará dentro del Laboratorio de Energía, pero se fabricará en un taller especializado privado. Paralelo a esto se evaluarán las variables representativas a medir, los equipos a utilizar, la forma de recolección de datos y la conexión eléctrica de todo el sistema. Una vez recolectada la información se procederá al análisis eléctrico de los generadores, mostrando los resultados de manera tabulada o por gráficos los cuales serán los entregables de la prueba.

#### Equipo a utilizar:

El equipo primario brindará toda la información necesaria para realizar las pruebas a los generadores, por lo que se utilizarán los equipos con mayor precisión. Los equipos de respaldo estarán conectados durante la prueba pero la información recolectada a través de ellos sólo servirá de referencia y no se realizará ningún análisis con los mismos.

- *Equipo Primario de Medición*
  - *Analizador de Potencia*
  - *Osciloscopio*
  - *Control Vectorial*
- *Equipo de Respaldo*
  - *Amper Clamp*

- *Multímetro*
- *Medidor de RPM*

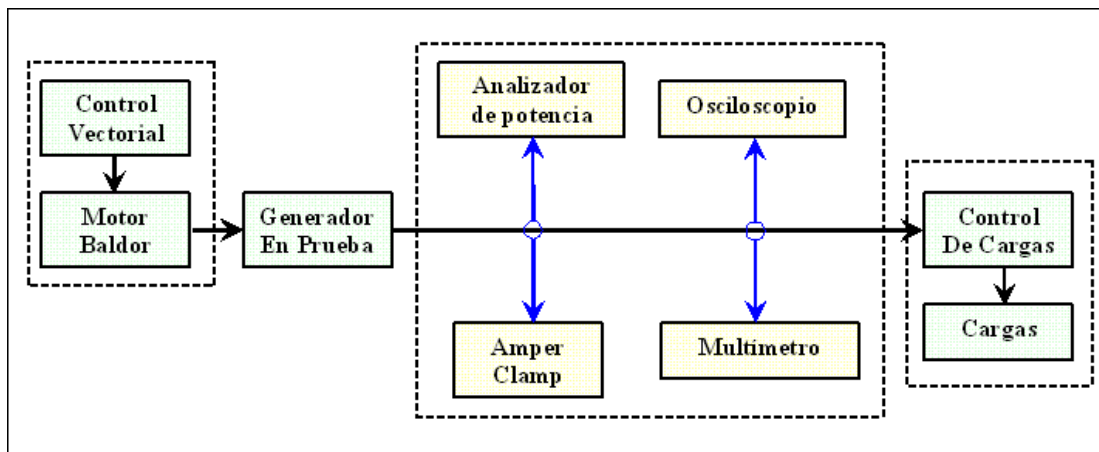
### Personal a participar en las pruebas:

La realización de estas pruebas involucra un equipo multidisciplinario conformado por:

- *1 Ingeniero Mecánico*
- *1 Ingeniero Eléctrico y Electrónico*
- *3 Asistentes*

### Pruebas:

Para la realización de todas las pruebas se utilizará el siguiente esquema:



#### a) Prueba 1.

La primera prueba a realizar es en vacío y la principal variable a medir es el voltaje de salida.

- *Paso 1 Desconectar las cargas del sistema usando el controlador de cargas*
- *Paso 2 Conectar correctamente el generador y todos los equipos de medición*
- *Paso 3 Verificar la conexión y configuración de los equipos de medición*
- *Paso 4 Encender el banco de prueba y programar a 200 RPM*
- *Paso 5 Dejar el sistema funcionando durante 2 minutos a 200 RPM*

- *Paso 6 Programar a 0 RPM el banco de prueba*
- *Paso 7 Incrementar desde 0 las RPM en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 8 Adquirir los datos*
- *Paso 9 Disminuir las RPM del motor en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 10 Adquirir datos*
- *Paso 11 Apagar el sistema*

b) *Prueba 2.*

La segunda prueba a realizar es la de corto circuito y las principales variables a medir son la corriente de corto circuito y el torque.

- *Paso 1 Poner en corto circuito las cargas del sistema usando el controlador de cargas*
- *Paso 2 Conectar correctamente el generador y todos los equipos de medición*
- *Paso 3 Verificar la conexión y configuración de los equipos de medición*
- *Paso 4 Encender el banco de prueba y programar a 100 RPM*
- *Paso 5 Dejar el sistema funcionando durante 2 minutos a 100 RPM*
- *Paso 6 Programar a 0 RPM el banco de prueba*
- *Paso 7 Incrementar desde 0 las RPM en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 8 Adquirir los datos*
- *Paso 9 Disminuir las RPM del motor en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 10 Adquirir datos*
- *Paso 11 Apagar el sistema*

c) *Prueba 3.*

La tercera prueba a realizar es con cargas eléctricas.

- *Paso 1 Activar todas las cargas del sistema usando el controlador de cargas*
- *Paso 2 Conectar correctamente el generador y todos los equipos de medición*
- *Paso 3 Verificar la conexión y configuración de los equipos de medición*
- *Paso 4 Encender el Banco de prueba y programar a 100 RPM*



- *Paso 5 Dejar el sistema funcionando durante 2 minutos a 100 RPM*
- *Paso 6 Programar a 0 RPM el banco de prueba*
- *Paso 7 Incrementar desde 0 las RPM en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 8 Adquirir los datos*
- *Paso 9 Disminuir las RPM del motor en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 10 Adquirir datos*
- *Paso 11 Apagar el sistema*

d) *Prueba 4.*

La cuarta prueba se realizará a velocidad constante

- *Paso 1 Desactivar todas las cargas del sistema usando el controlador de cargas*
- *Paso 2 Conectar correctamente el generador y todos los equipos de medición*
- *Paso 3 Verificar la conexión y configuración de los equipos de medición*
- *Paso 4 Encender el Banco de prueba y programar a 100 RPM*
- *Paso 5 Dejar el sistema funcionando durante 2 minutos a 100 RPM*
- *Paso 6 Programar a la Velocidad nominal (MHG-500 1500 RPM) el banco de prueba*
- *Paso 7 Incrementar la carga conectada desde 0 watts en intervalos de 50 watts cada 10 segundos*
- *Paso 8 Adquirir los datos*
- *Paso 9 Disminuir la carga en intervalos de 50 RPM cada 10 segundos*
- *Paso 10 Adquirir datos*
- *Paso 11 Apagar el sistema*



## ANEXO B

### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

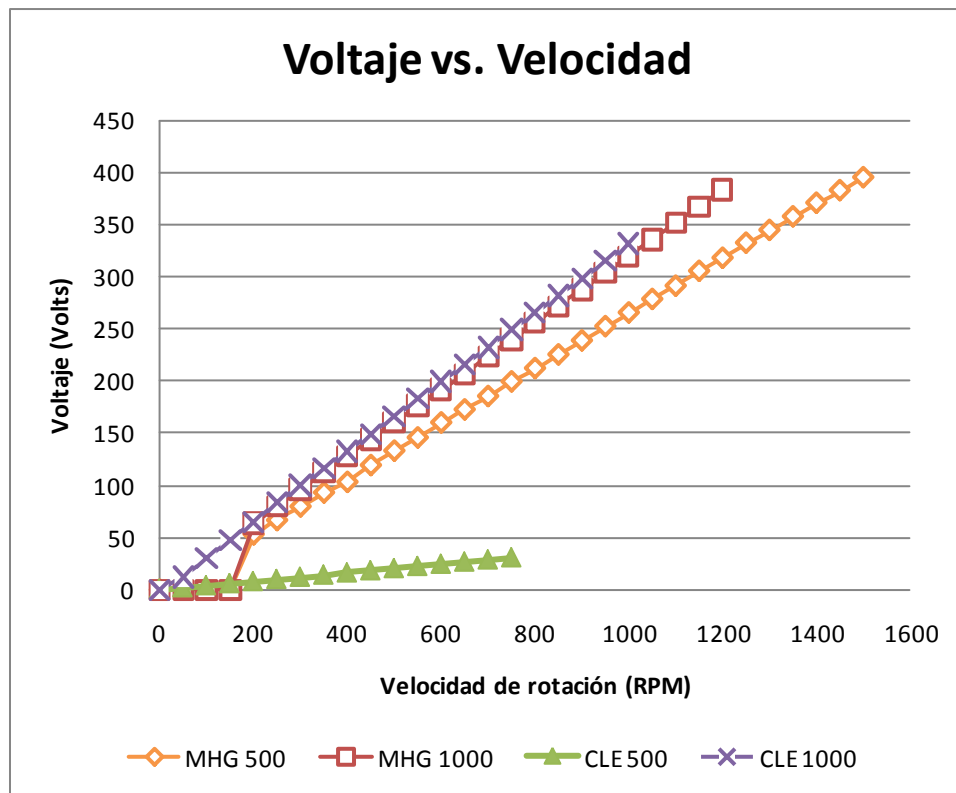
**Cuadro B.1 Prueba del Voltaje al Vacío de los 4 Generadores**

RPM	MHG 500	MHG 1000	CLE 500*	CLE 1000
0	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	1,52	12,29
100	0,00	0,00	3,50	30,12
150	0,00	0,00	5,48	47,50
200	53,00	63,90	7,53	64,80
250	66,60	79,80	9,60	83,30
300	79,70	96,30	11,71	100,00
350	93,00	112,30	13,80	116,70
400	103,10	127,90	15,90	132,90
450	119,20	144,00	18,00	149,20
500	133,00	160,00	20,10	165,90
550	145,60	176,30	22,22	182,70
600	160,00	192,00	24,33	199,40
650	172,40	205,80	26,43	215,70
700	185,20	223,80	28,52	232,30
750	199,20	239,80	30,61	249,00
800	211,90	255,70		265,50
850	225,00	271,50		282,00
900	238,40	287,60		298,00
950	252,00	303,50		315,10
1000	265,10	319,20		331,50
1050	278,00	335,70		
1100	290,70	351,20		
1150	304,90	367,30		
1200	317,40	383,20		
1250	331,80			
1300	344,00			

RPM	MHG 500	MHG 1000	CLE 500*	CLE 1000
1350	357,00			
1400	370,00			
1450	382,00			
1500	394,40			

\* El generador CLE 500 es de 12 V DC

Figura B.1 Gráfica del Voltaje vs. Revoluciones RPM al Vacío de los 4 Generadores



Cuadro B.2 Prueba de la Frecuencia al Vacío de los 4 Generadores

RPM	MHG 500	MHG 1000	CLE 500*	CLE 1000
0	0,00	0,00		0,00
50	0,00	0,00		0,00
100	0,00	0,00		0,00
150	0,00	0,00		7,60

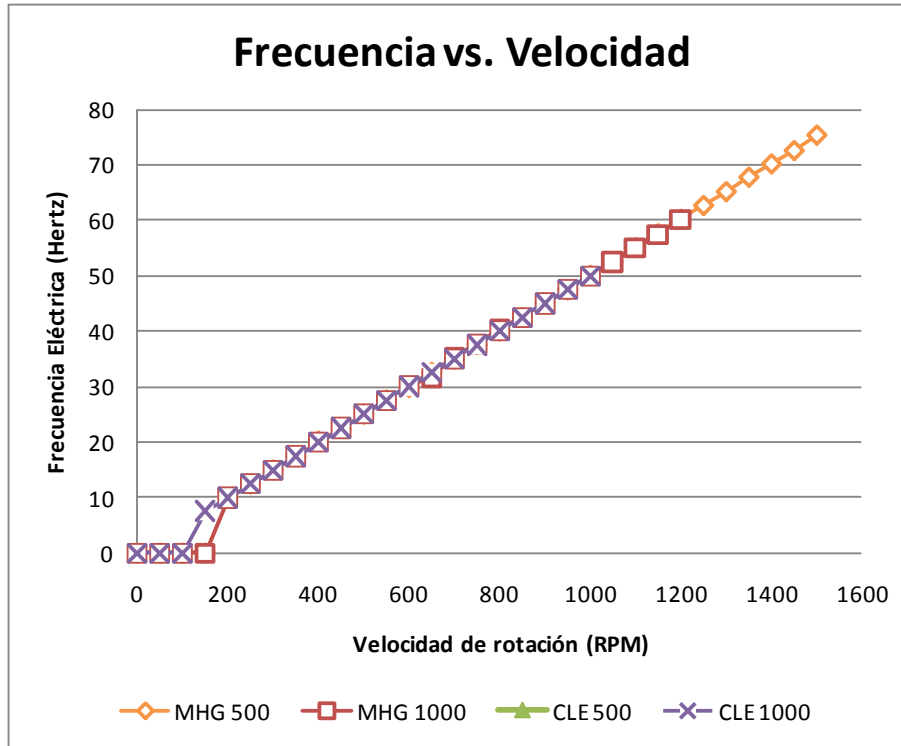


RPM	MHG 500	MHG 1000	CLE 500*	CLE 1000
200	10,00	10,00		10,00
250	12,50	12,50		12,50
300	15,00	15,00		15,00
350	17,50	17,50		17,50
400	20,20	20,00		20,00
450	22,50	22,50		22,50
500	25,10	25,10		25,00
550	27,60	27,50		27,50
600	29,90	30,10		30,00
650	32,60	31,60		32,50
700	35,00	35,10		35,00
750	37,60	37,70		37,50
800	40,10	40,20		40,00
850	42,50	42,50		42,50
900	45,00	45,00		45,00
950	47,50	47,50		47,50
1000	50,10	50,00		50,00
1050	52,50	52,50		
1100	55,10	55,00		
1150	57,60	57,50		
1200	60,20	60,10		
1250	62,70			
1300	65,20			
1350	67,80			
1400	70,20			
1450	72,60			
1500	75,40			

\* La CLE 500 es un alternador DC y por ende no genera una frecuencia AC



**Figura B.2 Gráfica de la Frecuencia vs Revoluciones RPM al Vacío de los 4 Generadores**



**Cuadro B.3 Prueba del Voltaje con Carga de los 4 Generadores**

RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
0	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,20	0,00
100	10,00	16,60	1,05	0,00
150	18,00	28,70	2,23	0,00
200	26,24	42,34	3,53	44,28
250	34,00	54,50	4,86	57,10
300	41,86	66,10	6,29	69,60
350	49,40	77,10	7,70	82,30
400	55,24	87,80	9,14	94,60
450	64,30	98,80	10,59	106,50
500	71,70	108,80	12,00	118,50

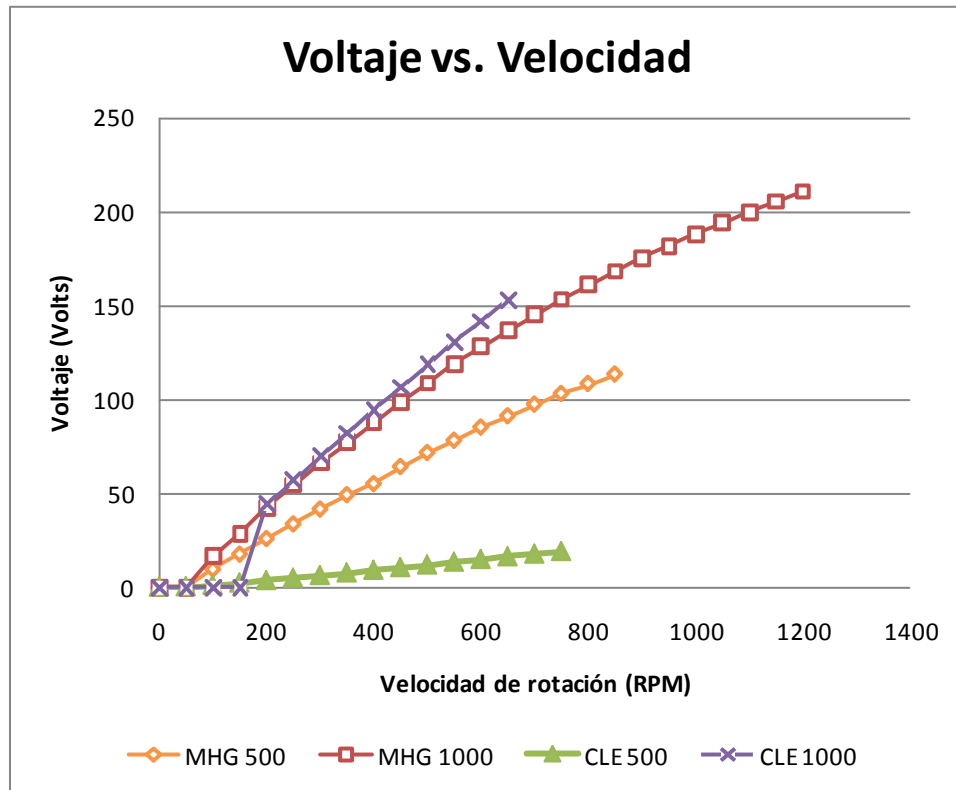
RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
550	78,20	118,90	13,54	130,70
600	85,20	128,40	15,00	141,70
650	91,10	136,90	16,45	153,10
700	97,30	145,40	17,90	
750	102,90	153,40	19,31	
800	108,20	161,10		
850	113,20	168,20		
900		175,30		
950		181,80		
1000		188,20		
1050		194,20		
1100		199,70		
1150		205,60		
1200		210,70		

<sup>a</sup> Generador monofásico

<sup>b</sup> Generador DC

<sup>c</sup> Generador trifásico

**Figura B.3 Gráfica del Voltaje vs Revoluciones RPM con Carga de los 4 Generadores**



**Cuadro B.4 Prueba de la Corriente con Carga de los 4 Generadores**

RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
0		0,00	0,00	0,00
50		0,00	0,30	0,00
100	1,30	1,18	1,50	1,50
150	1,60	1,43	2,20	1,69
200	1,99	1,76	2,80	2,20
250	2,27	2,00	3,40	2,53
300	2,54	2,22	3,90	2,83
350	2,78	2,41	4,50	3,10
400	2,95	2,58	4,80	3,34
450	3,20	2,75	5,30	3,58

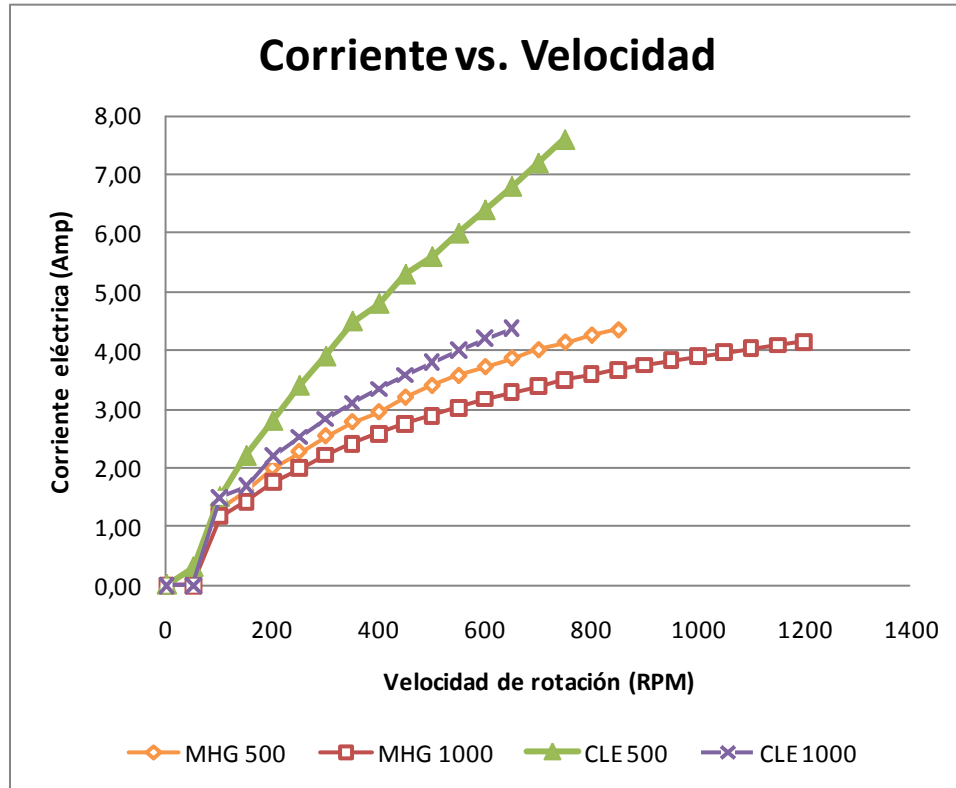
RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
500	3,40	2,89	5,60	3,80
550	3,57	3,03	6,00	4,00
600	3,72	3,17	6,40	4,20
650	3,87	3,29	6,80	4,38
700	4,01	3,39	7,20	
750	4,14	3,50	7,60	
800	4,26	3,59		
850	4,35	3,67		
900		3,75		
950		3,83		
1000		3,90		
1050		3,97		
1100		4,03		
1150		4,09		
1200		4,15		

<sup>a</sup> Generador monofásico

<sup>b</sup> Generador DC

<sup>c</sup> Generador trifásico

**Figura B.4 Gráfica de la Corriente vs Revoluciones RPM con Carga de los 4 Generadores**



**Cuadro B.5 Prueba de la Potencia con Carga de los 4 Generadores**

RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
0	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,06	0,00
100	0,00	0,00	1,58	0,00
150	0,00	0,00	4,91	0,00
200	51,60	74,52	9,88	168,72
250	70,00	109,00	16,52	250,21
300	98,00	146,74	24,53	341,15
350	134,00	185,81	34,65	441,89
400	154,00	226,52	43,87	547,25
450	205,00	271,70	56,13	660,36
500	245,00	314,43	67,20	779,92

RPM	MHG 500 <sup>a</sup>	MHG 1000 <sup>a</sup>	CLE 500 <sup>b</sup>	CLE 1000 <sup>c</sup>
550	280,00	360,27	81,24	905,49
600	314,00	407,03	96,00	1030,78
650	350,00	450,40	111,86	1161,44
700	390,00	492,91	128,88	
750	425,00	536,90	146,76	
800	459,00	578,35		
850	490,00	617,29		
900		657,38		
950		696,29		
1000		733,98		
1050		770,97		
1100		804,79		
1150		840,90		
1200		874,41		

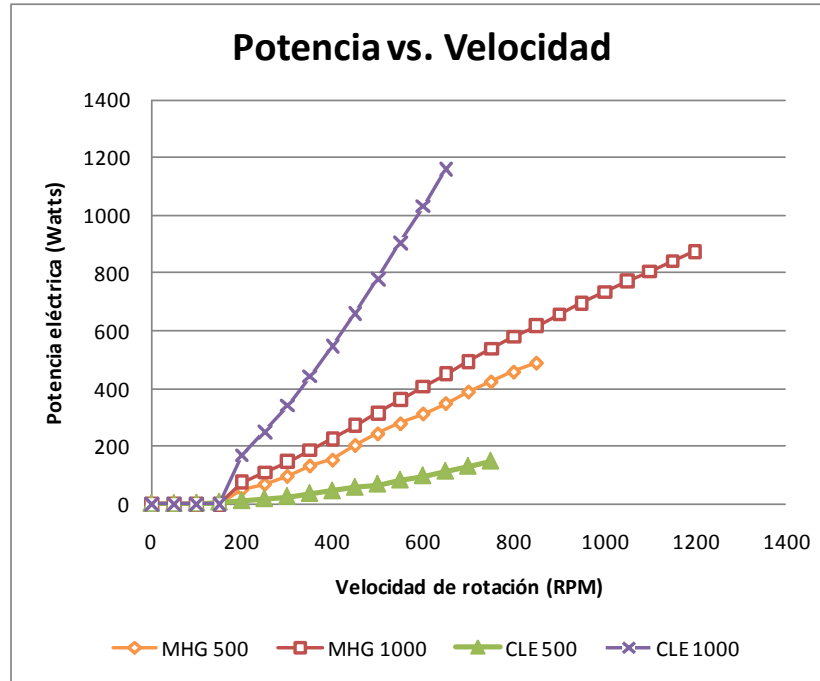
<sup>a</sup> Generador monofásico

<sup>b</sup> Generador DC

<sup>c</sup> Generador trifásico



**Figura B.5 Gráfica de la Potencia vs Revoluciones RPM con Carga de los 4 Generadores**



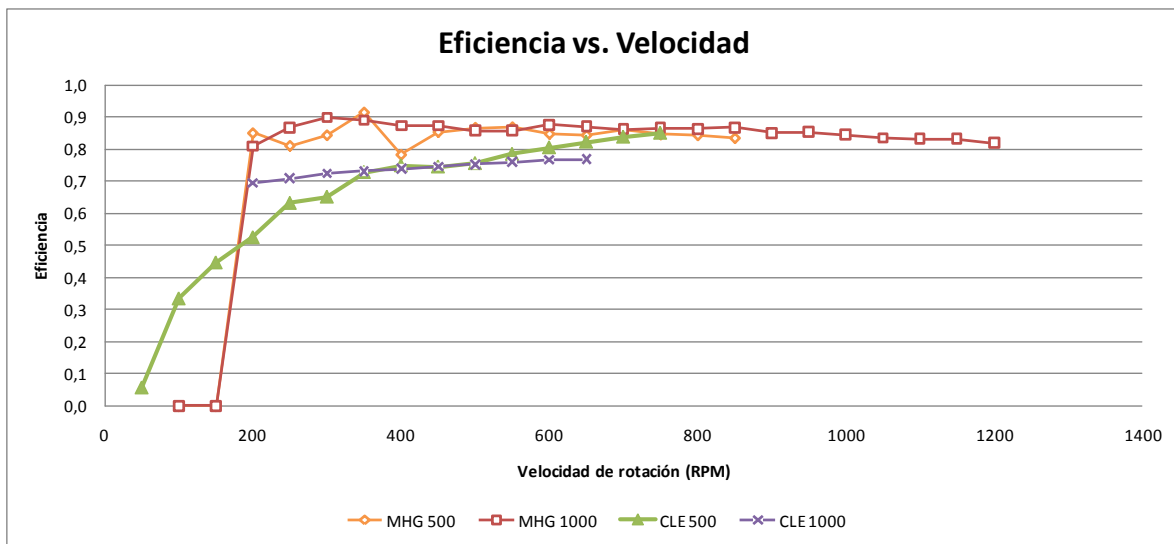
**Cuadro B.6 Prueba de la Eficiencia con Carga de los 4 Generadores**

RPM	EFICIENCIA			
	MHG 500	MHG 1000	CLE 500	CLE 1000
0				
50			0,06	
100	0,00	0,00	0,33	0,00
150	0,00	0,00	0,45	0,00
200	0,85	0,81	0,52	0,69
250	0,81	0,87	0,63	0,71
300	0,84	0,90	0,65	0,72
350	0,91	0,89	0,73	0,73
400	0,78	0,87	0,75	0,74
450	0,85	0,87	0,74	0,75
500	0,87	0,86	0,75	0,75
550	0,87	0,86	0,78	0,76
600	0,85	0,88	0,80	0,77



RPM	EFICIENCIA			
	MHG 500	MHG 1000	CLE 500	CLE 1000
650	0,84	0,87	0,82	0,77
700	0,86	0,86	0,84	
750	0,85	0,87	0,85	
800	0,84	0,86		
850	0,83	0,87		
900		0,85		
950		0,85		
1000		0,84		
1050		0,83		
1100		0,83		
1150		0,83		
1200		0,82		

**Figura B.6 Gráfica de la Eficiencia vs Revoluciones RPM con Carga de los 4 Generadores**



**ANEXO C**  
**INFORME DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ**



**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Estudio comparativo de rendimiento de las turbinas  
CE crossflow 1000 watts y HydroTec MHG-1000**

**Realizado en el laboratorio de Turbomaquinaria de la facultad  
de  
Ingeniería Mecánica**

**REALIZADO POR EL**

**Ingeniero**

**Oscar Montemayor**

**FECHA 24-07-2011**

## Índice

	Pág.
Resumen	3
Introducción	3
Objetivos	3
Procedimiento	3-5
Resultado y análisis	5
Conclusiones	5-6
Bibliografía	6
Datos obtenidos durante el ensayo en el laboratorio de turbomaquinaria	7
Cálculos de la información tomada en el laboratorio	8
Gráficos de resultados	9-14
Información del fabricante hydroTec MHG-1000	15-20
Informacion del fabricante CE crossflow 1000 watts	21-22
Fotos de la turbina HydroTec mhg-1000 e instalación	23-26
Fotos de la turbina CE crossflow 1000 watts e instalación	27-29

## **RESUMEN**

El estudio se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá y consistió en comparar el rendimiento de dos microturbinas fabricadas por CE Crossflow 1000 watts ( tipo Banki) y HydroTec MHG-1000( tipo axial). En los resultados tal como lo señala la información adjunta, se aprecian mayor rendimiento en la turbina CE Crossflow 1000 watts . Se puede observar que la instalación de la turbina HydroTec MHG-1000 no favorecía el rendimiento esperado de la turbina y lo demuestran sus lecturas de generación que son bastante inestables.

### **1. Introducción**

Con el propósito de realizar los estudios comparativos de rendimiento correspondiente a cada turbina, se acordó que estas fueran instaladas por el representante de las turbinas y los estudios de rendimiento por personal de la facultad de Ingeniería Mecánica en el laboratorio de turbomaquinaria.

La turbina HydroTec MHG-1000 por ser de flujo axial requiere un caudal alto y una carga pequeña. La carga o presión para su operación está definida por la diferencia de niveles del agua dentro del tanque y el nivel del agua en el canal del vertedero, que depende de la longitud del tubo de desfogue. La turbina CE Crossflow 1000 watts por ser de tipo Banki, por su diseño requiere menos flujo y más presión para su operación. La descripción técnica de las turbinas y generadores se encuentran en las páginas 15 a la 22.

### **2, Objetivos**

#### **Objetivo general**

Comparar los rendimientos de la turbina HydroTec MHG-1000 y la turbina CE Crossflow 1000 watts , de mil watts de generación cada una según fabricantes.

#### **Objetivos específicos**

1. Comparar la potencia hidráulica suministrada **vr** potencia eléctrica generada.
2. Evaluar la eficiencia para cada turbina.
3. Comparar la potencia hidráulica suministrada **vr** corriente y voltaje.

### **3. Procedimiento**

1. Para la realización de las pruebas se disponía de un laboratorio de turbomaquinaria que está equipado con las siguientes facilidades,
  - 1.1 Dos bombas centrifugas, una con capacidad de 700 gpm y carga de 40 psig y otra con capacidad de 2000 gpm y carga de 25 psig. cada una con sus

- respectivos manómetros de entrada y salida, válvulas de globo y compuerta respectivamente.
- 1.2 Las dos bombas descargan con tuberías de acero de 4 y 8 pulgadas respectivamente.
  - 1.3 Ambas se unen a un sistema de tubería de 8 pulgadas que alimentan a tres turbinas (Francis, Kaplan y Pelton) con capacidades hasta de 4 CV.
  - 1.4 El sistema dispone de un tanque y un canal que permite la recirculación del agua.
  - 1.5 En el canal se tiene instalado un vertedero en V de 90 grados de pared delgada y una tabla para medir la altura del agua sobre el vértice del vertedero para la medición del flujo cuando el agua es recirculada.
  - 1.6 Se disponen los equipos de medición de corriente, voltaje y el equipo consumidor de corriente.
2. Para la realización de las pruebas se instalaron dos turbinas con sus generadores con capacidad nominal según fabricantes de 1000 Watts cada una.
- 2.1 La primera turbina instalada fue la HydroTec MHG-1000, que es una turbina de tipo axial y consistió en lo siguiente:
    - 2.1.1 Introducir la turbina dentro de un tanque de 55 galones con un hueco en el fondo de 10 pulgadas de diámetro.
    - 2.1.2 Se instaló una tubería de alimentación al tanque de 55 galones de PVC de 6 pulgadas de diámetro a la descarga de las bombas del laboratorio y otra tubería de PVC de 10 pulgadas a la descarga de la turbina como tubo de desfogue. Ver fotos páginas 24,25 y 26
    - 2.1.3 La prueba consistió en:
      - a) Introducir agua al tanque donde se colocó la turbina a través de la tubería de alimentación como caudal de alimentación  $Q$ ,
      - b) Medir la altura del agua dentro del tanque respecto a la superficie del agua que cae al canal, que corresponde a la carga neta de alimentación  $H$ .
      - c) Medir la altura del agua sobre el vértice del vertedero  $h$ , para determinar el caudal que pasa por la turbina.
      - d) Para cada nivel de  $H$  y  $h$  se leían el voltaje (sin carga) y el amperaje consumido. Ver página 7.
  - 2.2 La segunda turbina instalada fue la CE Crossflow 1000 watts que es una turbina de tipo Banki y consistió en lo siguiente:
    - 2.2.1 Instalar una reducción de 6 x 4 pulgadas a la tubería de 6 pulgadas previamente instalada y acoplarla a la entrada de la turbina.
    - 2.2.2 Instalar un medidor de presión a la entrada de la turbina, ver fotos páginas 28 y 29
    - 2.2.3 La prueba consistió en:
      - a) Introducir agua a la turbina a través de la tubería de alimentación como caudal de alimentación  $Q$ .
      - b) Medir la presión del manómetro colocado a la entrada de la turbina, que corresponde a la carga neta de alimentación  $H$ .

- c) Medir la altura sobre el vértice en el vertedero  $h$ , para determinar el caudal que pasa por la turbina.
- d) Para cada lectura de presión del manómetro ( $H$ ) y altura sobre el vertedero ( $h$ ) se leían los correspondientes voltajes(sin carga) y el amperaje consumido. Ver página 7.

#### 4. Resultados y análisis

Para la turbina HydroTec MHG-1000 con los datos de altura del agua ( $H$ ), la altura sobre el vértice del vertedero ( $h$ ), voltaje y amperaje para cada caso, se realizaron los cálculos que se presentan en la página 8.

Para la turbina CE Crossflow 1000 watts con los datos de presión a la entrada de la turbina ( $H$ ), la altura del agua sobre el vértice del vertedero ( $h$ ), voltaje y amperaje para cada caso se realizaron los cálculos que se presentan en la página 8

##### Análisis de resultados

- 1- La turbina CE Crossflow 1000 watts presenta mayor relación que la turbina HydroTec MHG-1000 entre la potencia suministrada  $v_r$  potencia generada tal como se muestra en el gráfico # 1 pág. 9 y gráfico #2 pág. 10
- 2- La turbina CE Crossflow 1000 watts presenta mayor eficiencia que la turbina HydroTec MHG-1000 entre la potencia suministrada  $v_r$  potencia generada tal como se muestra en el gráfico # 3 pág. 11 y gráfico #4 pág. 12
- 3- La turbina CE Crossflow 1000 watts presenta mayor relación que la turbina HydroTec MHG-1000 entre la potencia suministrada  $v_r$  voltaje y corriente como se muestra en el gráfico # 5 pág. 13 y gráfico #6 pág. 14
- 4- Como se puede observar en los gráficos, las curvas de HydroTec MHG-1000 no son uniformes y pueden estar relacionadas con su instalación, ver fotos págs. 24, 25 y 26, ver los gráficos # 5 y # 6 págs. 13 y 14, muy diferente a la instalación presentada del fabricante. Véase pag. 18.

#### 5. Conclusiones

1. En ambas turbinas la generación de potencia eléctrica se incrementa según la potencia hidráulica suministrada.
2. La turbina CE Crossflow 1000 watts genera corriente y voltaje con menos potencia suministrada que la turbina HydroTec MHG-1000.
3. Para la carga  $H$  máxima de la turbina HydroTec MHG-1000, según fabricante 1.50 metros, la potencia generada solo llegó al 32,5 % de la especificada. Ver gráfico # 4 pág. 12
4. La instalación en el laboratorio para la turbina HydroTec MHG-1000, no garantiza los mejores resultados.

6. Bibliografía

6.1 PUMP HANDBOOK , Igor J. Karassik , Joseph P.Mesina, McGraw-Hill

6.2 VERTEDEROS DE PARED DELGADA- Rectangular y Triangular , Daniel Vega B.

6.3 MECÁNICA DE FLUIDOS, D. ALFONSO SAMANO,MIHIR SEN, SARA L. MOYA

**DATOS OBTENIDOS DURANTE EL ENSAYO EN EL LABORATORIO DE  
TURBOMAQUINARIA**

<b>Información tomada a la turbina HydroTec MGH-1000</b>								
Número de prueba	1	2	3	4	5	6	7	8
Lectura de carga neta C.A. en pulg. (mt)	50 (1.27)	60 (1.52)	50 (1.27)	52 (1.32)	58 (1.47)	59 (1.50)	61 (1.55)	64 (1.64)
Lectura altura agua del vertedero en cm.	25	28	20	25	27	27	28.5	28
Medida de voltaje en volts- sin carga	100	140	108	106	137	140	151	159
Lectura de corriente en amperios			0.6	0.9	1.7	1.8	1.7	1.8

<b>Información tomada a la turbina CE crossflow 1000 W</b>										
Número de prueba	1	2	3	4	8	5	6	7	9	10
Lectura de carga neta lb/ pulg <sup>2</sup> (mt)	0.5 (0.346)	1.3 (0.900)	3 (2.078)	5 (2.0781)	7 (4.849)	7.3 (5.056)	10 (6.927)	10 (6.927)	11.5 (7.966)	12.5 (8.658)
Lectura altura agua del vertedero en cm.	7.5	10	12	15	17.5	17.5	19	20	20.2	25
Medida de voltaje en volts- sin carga	22.6	34.5	76.7	125	165	173	213	213	228	245
Lectura de corriente en amperios	0	0.1	0.9	2.4	3.3	3.8	4.2	5.3		8.2



**CALCULOS DE LA INFORMACION TOMADA EN EL LABORATORIO**

<b>Información tomada a la turbina HydroTec MGH-1000</b>								
Número de prueba	1	2	3	4	5	6	7	8
(H)Lectura de carga neta C.A.en pulg. (mt)	50 (1.27)	60 (1.52)	50 (1.27)	52 (1.32)	58 (1.47)	59 (1.50)	61 (1.55)	64 (1.64)
(h)Lectura altura del vertedero en cm.	25	28	20	25	27	27	28.5	28
(Q) caudal $m^3/seg = 1.3908 \times hx^{2.5}$	0.4346	0.0577	0.0249	0.0435	0.0527	0.0527	0.0604	0.0577
(CV)Potencia =( Q )x ( H ) x 13.3333	0.7359	1.1728	0.4215	0.7654	1.0354	1.0532	1.2469	1.251
Potencia Watts( CV)x736 sumistrada	541.67	863.205	310.269	563.337	762.048	775.186	917.771	920.758
(V)Medida de voltaje en volts- sin carga	100	140	108	106	137	140	151	159
(A)Lectura de corriente en amperios			0.6	0.9	1.7	1.8	1.7	1.8
Potencia en Watts = VxA generada			64.8	95.4	232.9	252.0	256.7	286.2
Eficiencia (PotWatts sum/VA gener) %			20.88	16.93	30.56	32.5	27.97	31.08

<b>Información tomada a la turbina CE crossflow 1000 W</b>										
Número de prueba	1	2	3	4	8	5	6	7	9	10
(H)Lectura de carga neta lb/ pulg <sup>2</sup> (mt)	0.5 (0.346)	1.3 (0.900)	3 (2.078)	5 (2.0781)	7 (4.849)	7.3 (5.056)	10 (6.927)	10 (6.927)	11.5 (7.966)	12.5 (8.658)
(h)Lectura altura agua vertedero en cm.	7.5	10	12	15	17.5	17.5	19	20	20.2	25
(Q) caudal $m^3/seg = 1.3908 \times hx^{2.5}$	0.0021	0.0025	0.0069	0.0121	0.0178	0.0218	0.0249	0.0178	0.0254	0.0281
(CV)Potencia =( Q )x ( H ) x 13.3333	0.0099	0.0302	0.1927	0.5588	1.2003	2.0168	2.2994	1.1509	2.7034	3.2435
Potencia Watts( CV)x736 sum	7.280	22.246	141.817	411.269	883.424	1484.349	1692.347	847.119	1989.689	2387.249
(V)Medida de voltaje en volts- sin carga	22.6	34.5	76.7	125	165	173	213	213	228	245
(A)Lectura de corriente en amperios	0	0.1	0.9	2.4	3.3	3.8	4.2	5.3		8.2
Potencia en Watts = VxA generada		3.45	69.03	300.00	657.40	894.60	1128.90	544.50		2009.00
Eficiencia (PotWatts sum/VA gener) %		15.51	48.67	72.94	74.41	60.27	66.71	64.28	0	84.15

## Potencia Hidraulica vs Potencia Generada

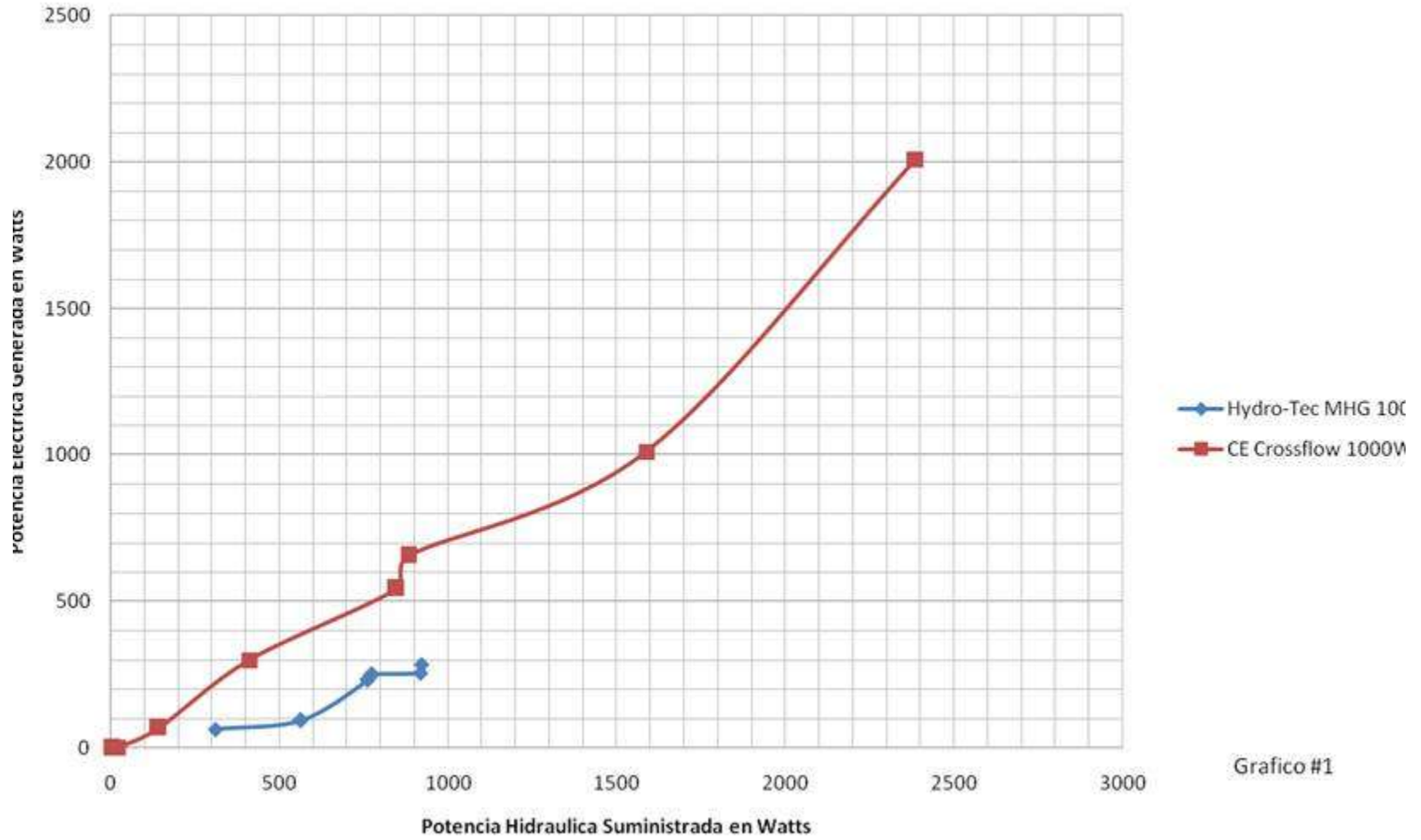


Grafico #1

## Potencia Hidraulica vs Potencia Generada

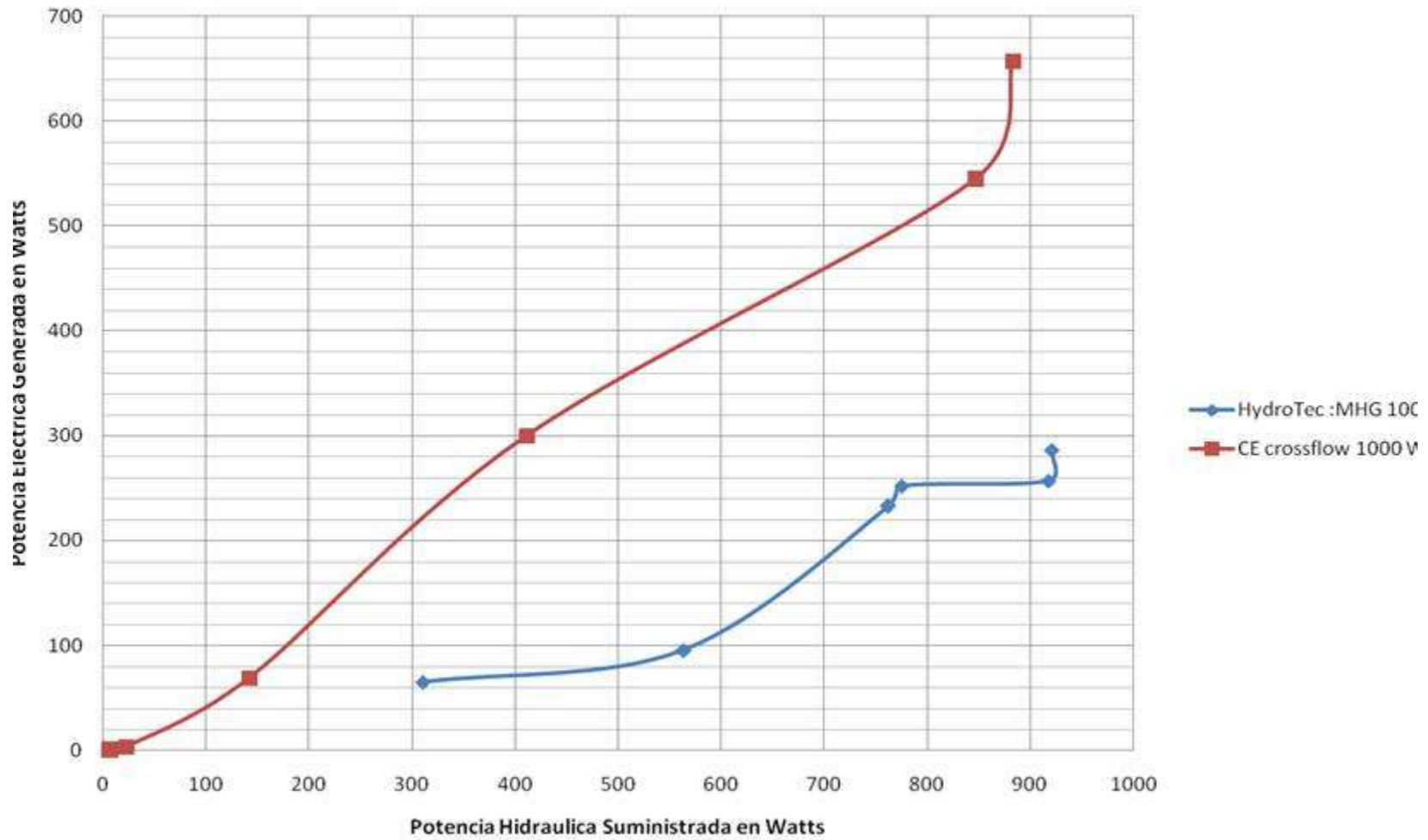
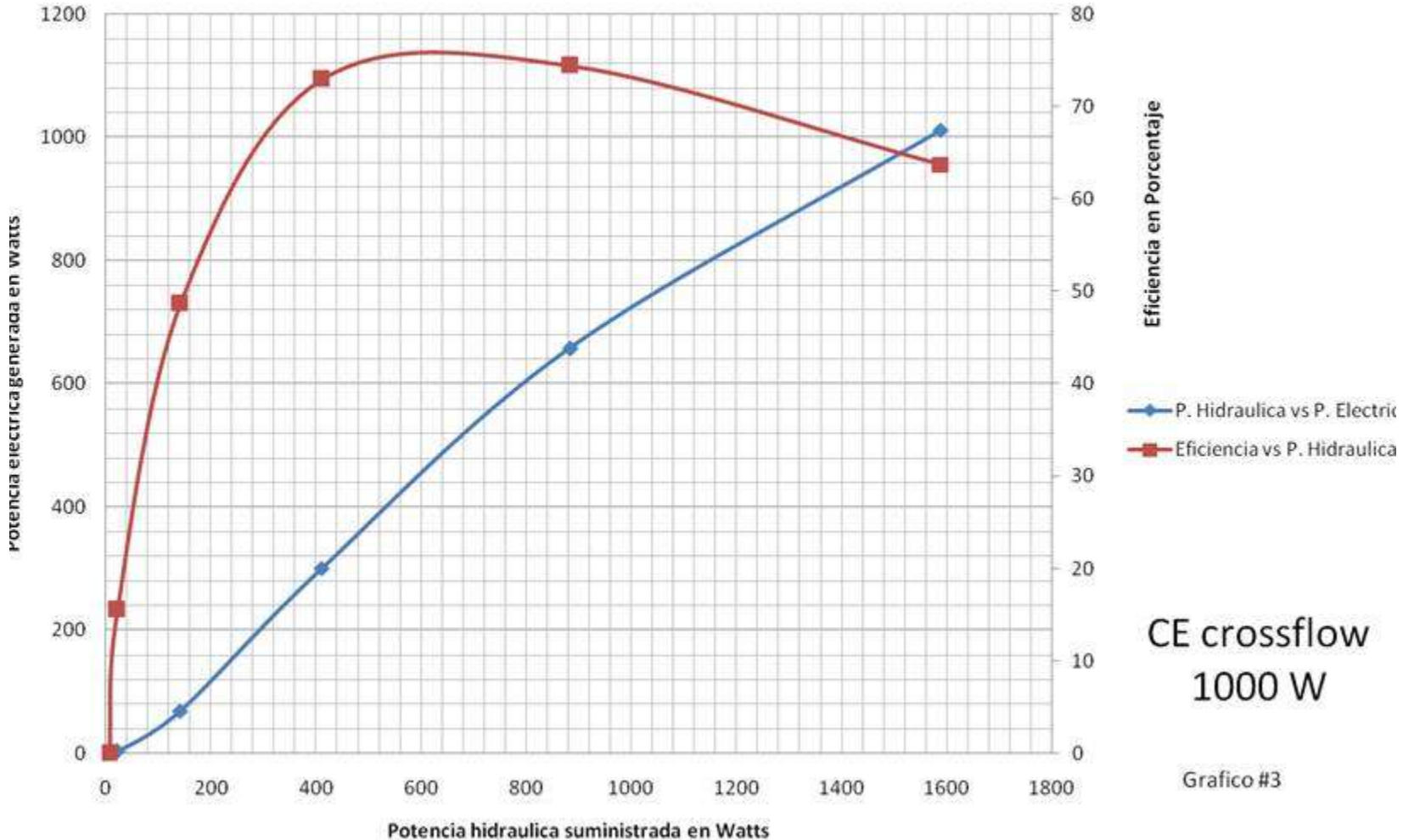


Grafico # 2

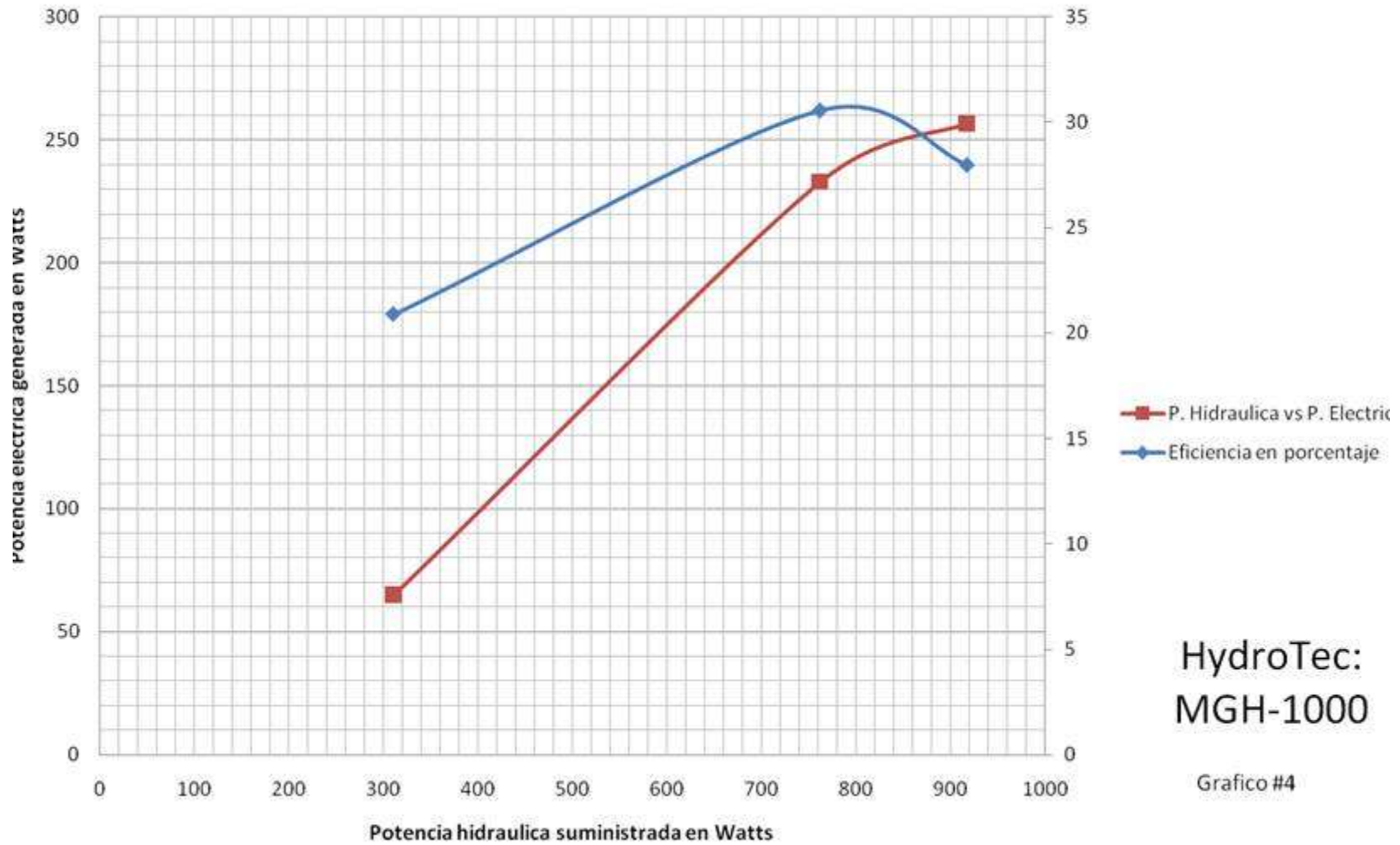
### Potencia vs Eficiencia



CE crossflow  
1000 W

Grafico #3

## Potencia vs Eficiencia



## Potencia hidraulica vs Voltaje-Corriente

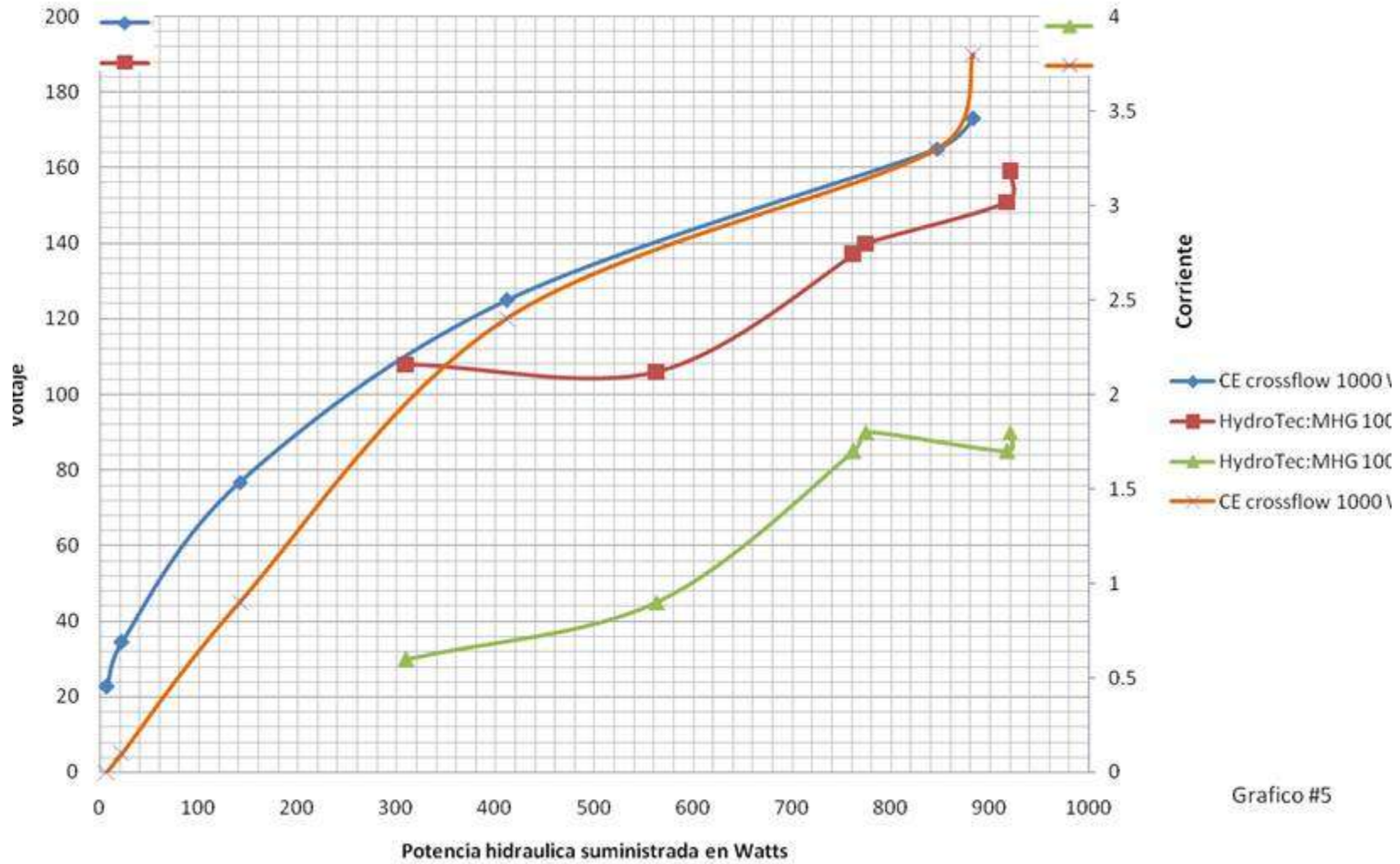


Grafico #5

## Potencia Hidraulica vs Voltaje-Corriente

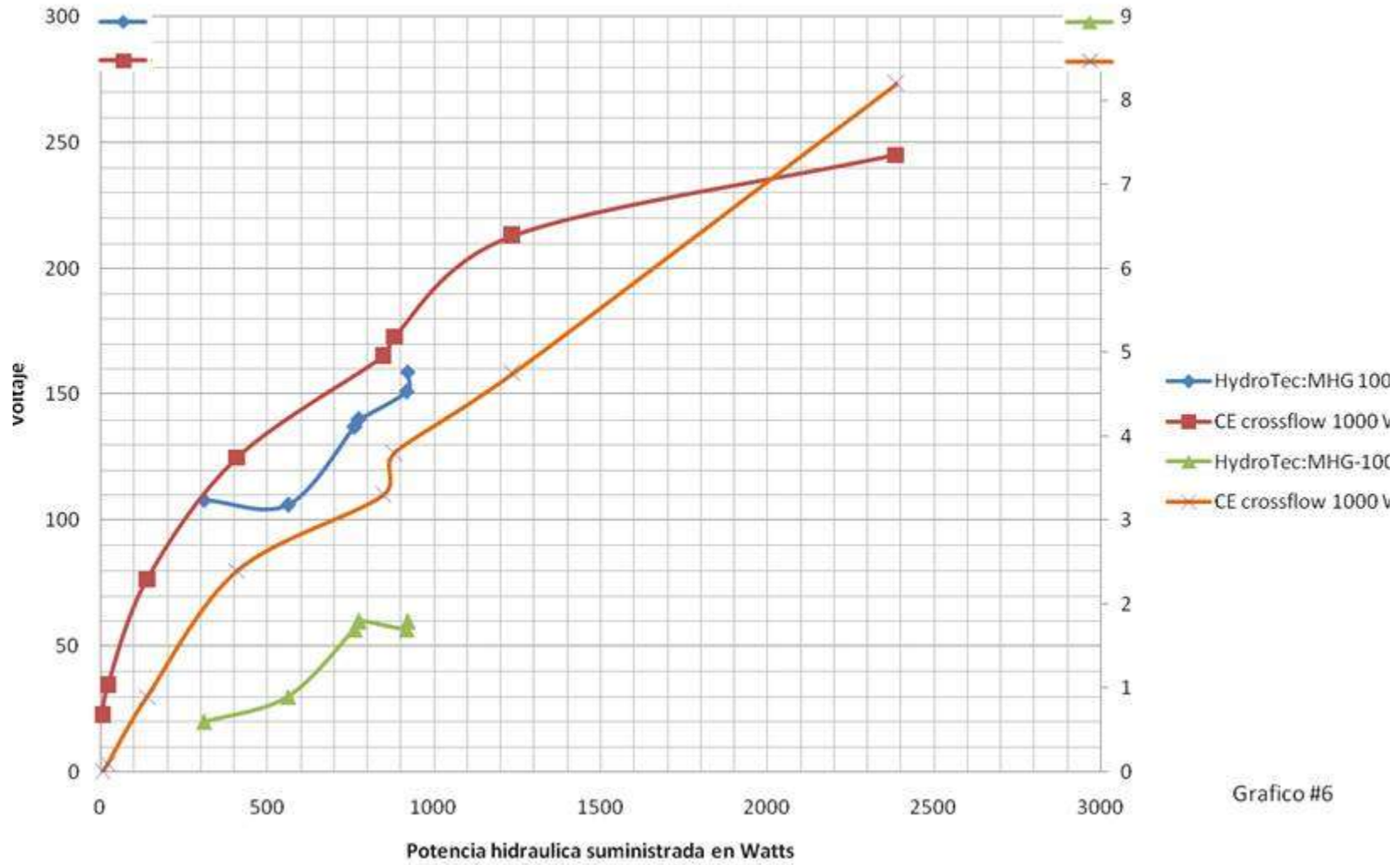


Grafico #6

# INFORMACIÓN DEL FABRICANTE CE CROSSFLOW 1000 WATTS

## CE crossflow 1000 watts - Specifications

**Item** Clement Energy Cross Floww 1000 Hydroelectric  
**Designer** Ing. Antonio Clement  
**Patent Number:** US60/711,944, & WIPO Gold Medal  
**Manufacturer:** Clement Energy  
**Item Category** Hydro generator  
**Turbine** Cross Flow 6 x 4,5 with 20 blades, 1/4 Thickness  
**Axle** One inches axle over industrial NRT bridge bearings  
**Chasis** Welded Heavy duty steel with stainless steel hardware  
**Water Inlet:** 4 inches diameter  
**Generator** 1,5 Hp WEG Three Phase modified industrial motor  
**Rotor Modification:** NdFeB 4 pairs pole permanent magnets  
**Series:** HIGH EFFICIENCY GENERAL PURPOSE  
**Rated Power:** 1000 watts maximum power 1200 watts  
**RPM:** 800  
**Phase:** 3  
**Volts AC:** 208 to 230/460  
**NEMA Frame:** 182T  
**Enclosure:** Totally Enclosed Fan Cooled  
**Mounting Type:** Foot Mount  
**Efficiency %:** 85.5 Percent  
**Full Load Amps:** 2.38 @ 460V  
**Service Factor:** 1.25  
**Inverter Duty:** Yes  
**Composition:** Cast Iron  
**Bearing Type:** Ball  
**Overload Protection:** None  
**Overall Length:** 14.86 Inches  
**Approvals:** UL; CSA; CE WIPO Gold medal, Energy Globe  
**Internationals Awards** WIPO Best inventor Gold medal, European Energy Globe  
**Paint Class:** Polyurethane & anti rust coating  
**H x W x D (in.):** 14 x 18 x 26  
**Generator Net Weight:** 70 lb  
**Generator Gross Weight:** 77 lb  
**Complete Machine Weight:** 150 lb



## **FOTOS DE LA TURBINA HYDROTEC MHG-1000 E INSTALACIÓN**



TAPADERA Y GENERADOR DE LA TURBINA



COLOCACIÓN DE SELLO A LA SALIDA DE LA TURBINA



TURBINA GENERADOR DENTRO DEL TANQUE



TURBINA GENERADOR DENTRO DEL  
TANQUE



TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN AL TANQUE DE  
LA TURBINA



TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN AL TANQUE DE LA TURBINA



BOMBAS DE ALIMENTACIÓN AL TANQUE DE LA TURBINA

## **FOTOS DE LA TURBINA CE CROSSFLOW 1000 WATTS E INSTALACIÓN**



TUBERÍA DE ALIMENTACION A LA TURBINA



INSTALACIÓN DE LA TURBINA Y EL GENERADOR



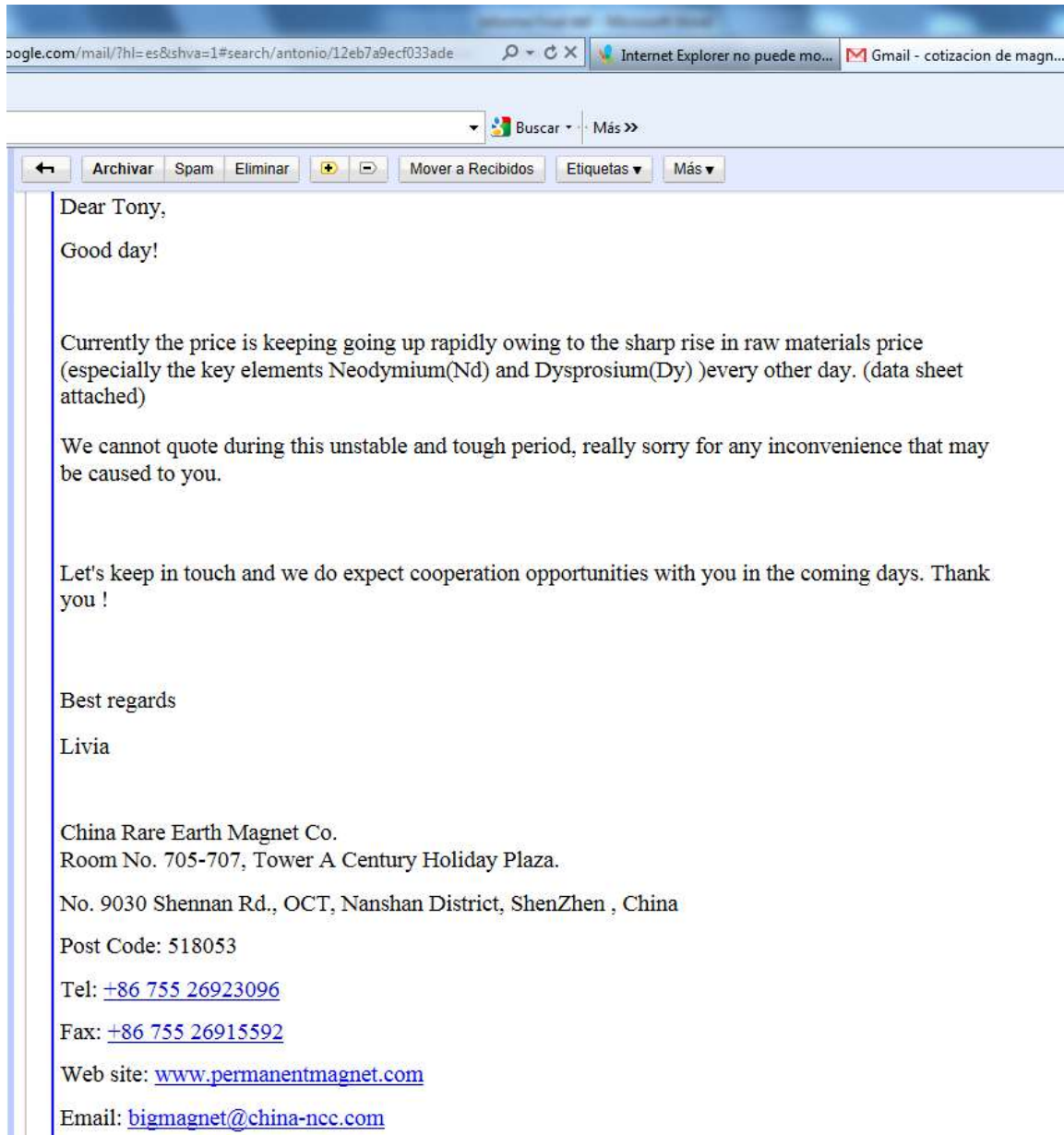
MANÓMETRO Y VÁLVULA A LA ENTRADA DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACION A LA TURBINA



VERTEDERO EN V PARA MEDIR EL FLUJO DE ALIMENTACIÓN A LA TURBINA

## ANEXO D

### EMAIL CHINA RARE EARTH MAGNET CO.



Google.com/mail/?hl=es&shva=1#search/antonio/12eb7a9ecf033ade

Internet Explorer no puede mo... Gmail - cotizacion de magn...

Buscar Más >>

Archivar Spam Eliminar Mover a Recibidos Etiquetas Más

Dear Tony,  
Good day!

Currently the price is keeping going up rapidly owing to the sharp rise in raw materials price (especially the key elements Neodymium(Nd) and Dysprosium(Dy) )every other day. (data sheet attached)

We cannot quote during this unstable and tough period, really sorry for any inconvenience that may be caused to you.

Let's keep in touch and we do expect cooperation opportunities with you in the coming days. Thank you !

Best regards  
Livia

China Rare Earth Magnet Co.  
Room No. 705-707, Tower A Century Holiday Plaza.  
No. 9030 Shennan Rd., OCT, Nanshan District, ShenZhen , China  
Post Code: 518053  
Tel: [+86 755 26923096](tel:+8675526923096)  
Fax: [+86 755 26915592](tel:+8675526915592)  
Web site: [www.permanentmagnet.com](http://www.permanentmagnet.com)  
Email: [bigmagnet@china-ncc.com](mailto:bigmagnet@china-ncc.com)