

# Proyecto Kumbo (Camerún)

## Instalaciones energéticas necesarias (II)

SPANISH EMBASSY

Sala de reuniones en Granja escuela de Shumas en Kumbo (Camerún)

**Palabras clave:** proyecto Kumbo, Energía sin Fronteras, Shumas, Energías renovables, África.

### Resumen:

El proyecto Kumbo nace como fruto de la colaboración entre Ingenieros del ICAI para el desarrollo y Energía sin Fronteras. Kumbo es una provincia ubicada al oeste de Camerún. Al norte de esta provincia existe una granja escuela en cuya financiación participó la Junta de Extremadura y que gestiona la ONG local SHUMAS. En esta escuela se enseñan técnicas agropecuarias con el objetivo de que los alumnos, que residen en la granja durante su aprendizaje, puedan expandir los conocimientos adquiridos a sus pueblos de origen. El proyecto de energía de Kumbo incluye 5 tecnologías renovables diferentes: microhidráulica, microeólica, fotovoltaica, solar térmica y biogás. Creemos que no existe en la actualidad ningún proyecto en África que incluya estas 5 tecnologías, y se pretende que, al igual que los alumnos pueden enseñar a sus vecinos las técnicas agropecuarias aprendidas, también puedan conocer las energías renovables durante su estancia en la granja.

**Key words:** Kumbo project, Energía sin Fronteras, Shumas, Renewable Energies, Africa.

### Abstract:

*Kumbo project has been born as a cooperation between Ingenieros del ICAI para el Desarrollo and Energy without Borders. Kumbo is a region located in West Cameroon. At the North of this region there is a biofarm-school financed by the Junta de Extremadura in 2007 and that is currently managed by the local NGO SHUMAS. Agricultural and cattle raising techniques are taught in this school, with the aim that the resident pupils are able to expand the acquired knowledges to their origin villages. Kumbo project includes 5 different renewable technologies: microhydraulic, microeolic, photovoltaic, thermal solar and biogas. We believe that there not exist nowadays any project containing these 5 technologies in the whole continent and we pretend that, in addition to the expansion of the agricultural techniques, the project will contribute to demonstrate the feasibility of renewable energies for small populations in Africa.*



**Francisco G. Tovar Rodríguez**

Ingeniero Industrial del ICAI (promoción 1995) y Licenciado en Ciencias Físicas por la UNED (2002), especialidad Física Electrónica. Entre los años 1996 y 2009 desarrolló su actividad profesional, desempeñando diferentes puestos de responsabilidad, en Zardoya Otis S.A., Explosivos Alaveses S.A. y LUXOR, fabricación de andamios eléctricos, S.A. Desde el año 2010 es Jefe de Servicio de Energías Renovables en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

## Fuentes de energía y abastecimiento de la granja

Se proyecta abastecer las necesidades de la granja del siguiente modo (ver figura 1):

- Cluster A: formado por los edificios centrales de la granja y de un mayor consumo. Se alimentará con la energía hidráulica que proviene del salto de agua y que es transportada por una línea eléctrica monofásica hasta el núcleo del cluster:

- Cluster B: formado por los edificios situados en la colina elevada de la granja, de un menor y más intermitente consumo. Se abastecerá con un sistema mixto microeólico-fotovoltaico ubicado en dicha colina.

- Cluster C, formado por dos edificios aislados: la clínica para personas y la clínica veterinaria. Será alimentado por paneles fotovoltaicos.

- Como apoyo a los cluster A y B en caso de falta de recurso renovable, el proyecto prevé la provisión de un grupo electrógeno diesel de 6 kVA; 230V; 50 Hz.

Se elaboró un mapa de las posiciones de los diferentes edificios, fundamental para poder diseñar la red de distribución eléctrica necesaria, con la ayuda de un GPS de montaña.

En la Fase I del proyecto se abordarán la instalación microhidráulica y la fotovoltaica, dejando para la Fase II la microeólica y la solar térmica.

### Fase I: Proyecto Kumbo Instalación microhidráulica

A continuación se presentan las principales características técnicas de un grupo hidroeléctrico de pequeña potencia que se utilizaría como fuente de energía de autoabastecimiento de la granja.

A este objeto se ha contactado con un proveedor español que ha propuesto la siguiente solución: una microturbina de flujo cruzado (Banki) que genera electricidad de forma constante, y utiliza resistencias de disipación con un control electrónico para la disipación de la energía sobrante. Dicha energía sobrante, disponible sobre todo en horario nocturno, puede aprovecharse, por ejemplo, para calefacción de un criadero de pollos existente en la granja.

Figura 1. Plano de layout de la granja



La solución final incluye unas resistencias refrigeradas por aire que se instalarán en el citado criadero de pollos y otras resistencias, instaladas como back-up de seguridad, junto a la propia turbina, y que serán refrigeradas por el propio agua de salida de ésta.

Estas resistencias de back-up son necesarias para evitar un embalamiento de la turbina en el caso de que no le sea demandada potencia eléctrica.

### Datos de partida de la instalación

Se han tomado los siguientes datos de partida para la instalación microhidráulica.

- Altura neta: 19 m.
- Caudal: entre 13 y 100 l/s.
- Potencia nominal: 7 kW.
- Tensión: 230 V monofásica.
- Frecuencia: 50 Hz.

La turbina que mejor se adapta a estas condiciones de salto y caudal es una turbina Banki o de flujo cruzado, por mantener un rendimiento relativamente bueno para caudales muy diferentes del nominal.

Es importante destacar que uno de los requerimientos del proyecto ha sido que la instalación, la conexión, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de la microcentral hidroeléctrica no requieran presencia de

Figura 2. Esquema de componentes de instalación microhidroeléctrica



personal técnico especializado. Un instalador eléctrico y un fontanero, con la ayuda de la documentación técnica, podrán sin ningún problema, poner en marcha los equipos que, por otra parte, no requieren ningún calibrado específico.

### Grupo turbina Banki-multiplicador de correa-generator

#### Turbina

La turbina Banki, o también denominada de flujo cruzado, está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica con sus palas dispuestas como generatrices del mismo.

El caudal que entra en la turbina es orientado por el álabe del inyector hacia las palas del rodete, produciendo un primer impulso. Posteriormente atraviesa el interior del rodete y proporciona un segundo impulso (es por ello que se denomina de flujo cruzado) al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración.

**Figura 4. Funcionamiento de la turbina Banki o de "flujo cruzado"**



Estas turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, pudiendo aprovechar saltos entre 1 y 200 metros, con un rango de variación de caudales muy grande, y hasta una potencia de 1 MW.

Su rendimiento, aproximadamente del 85%, es alto, aunque inferior al de las turbinas Pelton en valores de saltos elevados, y se mantiene prácticamente constante con el caudal, siempre que éste sea superior al 15% del nominal.

**Figura 3. Grupo turbina Banki-generator**



#### Generator

El generador es una máquina basada en el principio de inducción electromagnética que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador está compuesto por dos partes fundamentales: el rotor, que genera un campo magnético giratorio, y el estator, que transforma ese campo magnético giratorio en una corriente eléctrica alterna.

El generador puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono, en función de si gira exactamente a la velocidad de sincronismo o ligeramente por encima de dicha velocidad. La velocidad de sincronismo se obtiene de la siguiente expresión:  $N_s = 60 / f/p$ .

Donde:

$N_s$  = velocidad de sincronismo en rpm.

$f$  = frecuencia de la red en Hz.

$p$  =  $n^\circ$  de pares de polos del generador.

En el presente proyecto, el generador es síncrono monofásico. El inductor móvil es de 4 polos salientes. Estos generadores se caracterizan por la ausencia de escobillas (con lo cual requieren un menor mantenimiento).

El campo magnético giratorio es creado por una corriente continua de excitación que circula a través de las bobinas de los polos del rotor.

La corriente de excitación la suministra un generador auxiliar cuyo rotor (inducido) está montado sobre el mismo eje del generador principal. La regulación de la excitación es de tipo voltamperimétrica por sistema "Compound".

Los rodamientos a bolas del eje del generador son de tipo "estanco", no necesitan lubricación (nuevamente menor mantenimiento). El generador está separado de la turbina por un broquel-escudo especial que le preserva de cualquier contacto con el agua.

La turbina y el generador están conectados a través de una correa multiplicadora que requerirá un mínimo mantenimiento y su sustitución cada 5 ó 10 años.

#### Cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico será muy sencillo de forma que se limiten al mínimo sus revisiones y que su utilización sea lo más intuitiva posible.

La instrumentación del cuadro monofásico está constituida por un voltímetro, un frecuenciómetro digital, un amperímetro indicador de la intensidad total suministrada por el generador y un segundo amperímetro indicador de la corriente absorbida por la carga.

Las protecciones del cuadro monofásico son: un interruptor magnetotérmico

Figura 5. Cuadro eléctrico de control



tripolar, que protege el generador contra los eventuales cortocircuitos sobre la línea de carga, y un relé electrónico de tensión, que activa dos avisadores (sonoro y visual) en el caso de variaciones de tensión sobrepasando los límites prefijados.

#### Reguladores electrónicos

Los reguladores electrónicos se encargan de disipar la potencia sobrante, es decir, la que no está siendo consumida por la carga. Esta potencia puede aprovecharse, por ejemplo, para el calentamiento de agua sanitaria o, como en el presente proyecto, para la calefacción del criadero de pollos.

Los reguladores velan por mantener la tensión y la frecuencia constantes, dado que la absorción de la energía producida por el grupo turbina-generador es siempre constante.

Los reguladores de carga pueden ser de disipación por aire o agua, o ambas. En nuestro caso se instalarán dos juegos: uno de disipación por agua junto a la turbina, tarado a una tensión ligeramente superior a la nominal, que será el encargado de evitar el embalamiento de la misma, y otro juego de disipación por aire, que se instalará en el criadero de pollos.

Los reguladores electrónicos se componen de la unidad de control y de resistencias de disipación (ver figura 6).

#### Obra civil

La central microhidráulica, a diferencia de la eólica o la fotovoltaica, requiere de una obra civil para conducir

Figura 6 Resistencias refrigeradas por agua de salida y conectadas a unidades de control



el caudal del río hacia la turbina. Por otro lado, debido a que el salto de agua está ubicado a unos 2,5 km de la granja, será necesario transportar la electricidad mediante una línea aérea monofásica de 1000Vac.

Por consiguiente, la obra civil a desarrollar se divide en dos partes: obra hidráulica de aprovechamiento energético y línea aérea de transporte de electricidad en media tensión.

#### Obra hidráulica

La obra hidráulica para aprovechamientos de poca potencia no re-

quiere de presa, sino de un pequeño azud o muro dispuesto transversalmente al curso del agua, el cual produce un remanso en el río que deposita los sedimentos y retiene los objetos flotantes, evitando que puedan dañar la turbina y desviando parte del caudal del río hacia la toma del canal.

La figura 7 bis representa el azud que se construirá, y la figura 7 el lugar donde se tomará el agua.

La captación de agua tiene por objeto que el agua de entrada a la turbina carezca de arena, hojas,

Figura 7. Lugar de ubicación del azud



Figura 7.b Captación de agua con desarenador, desagües y ranuras

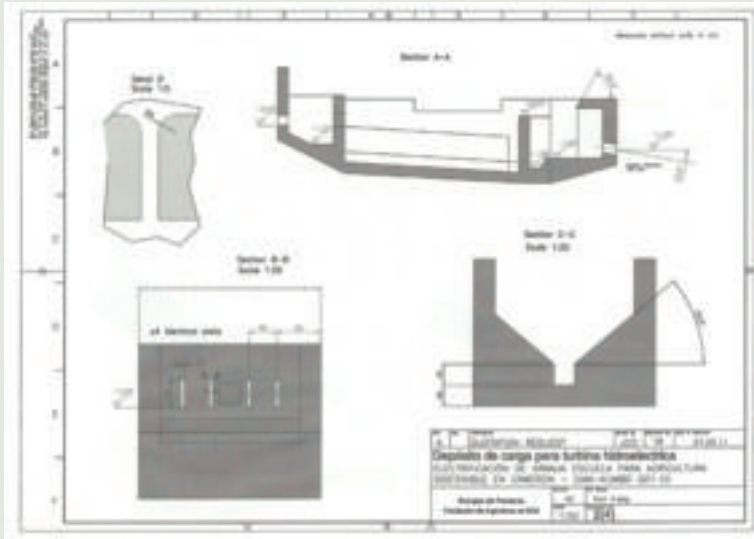
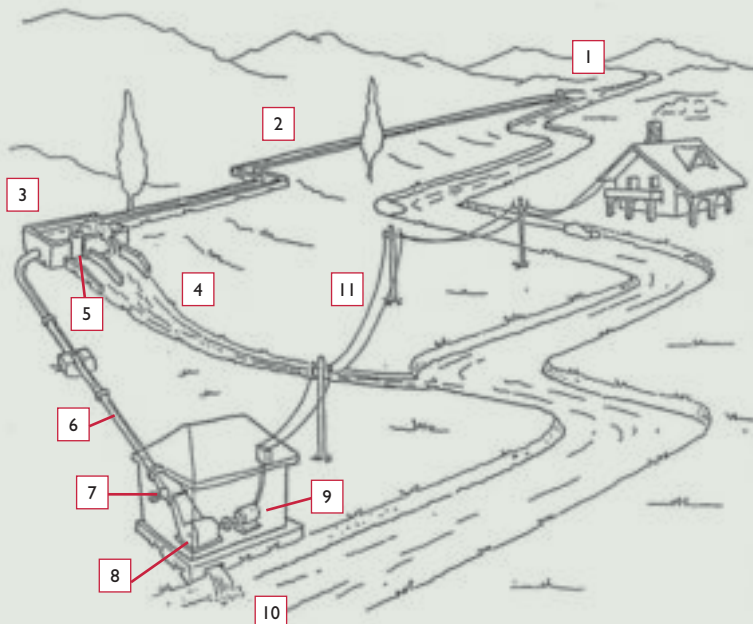


Figura 8. Esquema obra civil hidráulica



- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Toma de entrada canal | 7. Válvula          |
| 2. Canal                 | 8. Turbina          |
| 3. Cámara de carga       | 9. Generador        |
| 4. Vertedero             | 10. Salida de agua  |
| 5. Compuerta limpieza    | 11. Línea eléctrica |
| 6. Conducción forzada    |                     |

ramas u otras impurezas, y puede estar construida de hormigón, de ladrillo, de escollera o de tierra, estos tres últimos casos revestidos de hormigón.

Dispondrá de unas ranuras o una reja que evitará la entrada de hojas u otros detritus en la tubería forzada. Dicha reja deberá ser limpiada periódicamente.

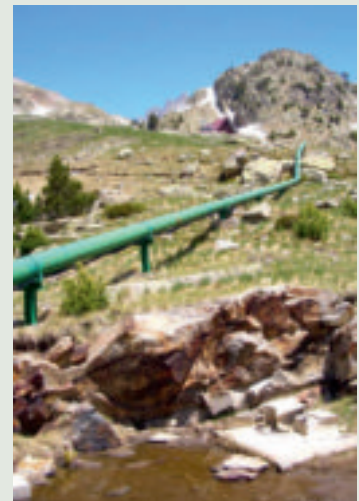
El azud conduce el agua hasta la entrada de una tubería forzada, que a su vez la conducirá hasta la turbina. El agua, una vez turbinada, retorna al río (ver figura 8).

#### Tubería forzada

La tubería forzada tiene la misión de llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, salvando el desnivel necesario. Debe estar preparada para soportar la presión producida por la columna de agua y la sobrepresión producida por el golpe de ariete en caso de parada brusca de la central. Debe tenerse en cuenta que la presión es mayor a medida que se acerca a la turbina.

Las tuberías forzadas pueden ir enterradas o aéreas, dependiendo de la orografía y las condiciones medioambientales. En el caso de ser aéreas es necesario sustentarlas mediante apoyos, además de los anclajes necesarios en cada cambio de dirección. También debe estudiarse la instalación de juntas de dilatación para compensar los esfuerzos originados por los cambios de temperatura (ver figura 9).

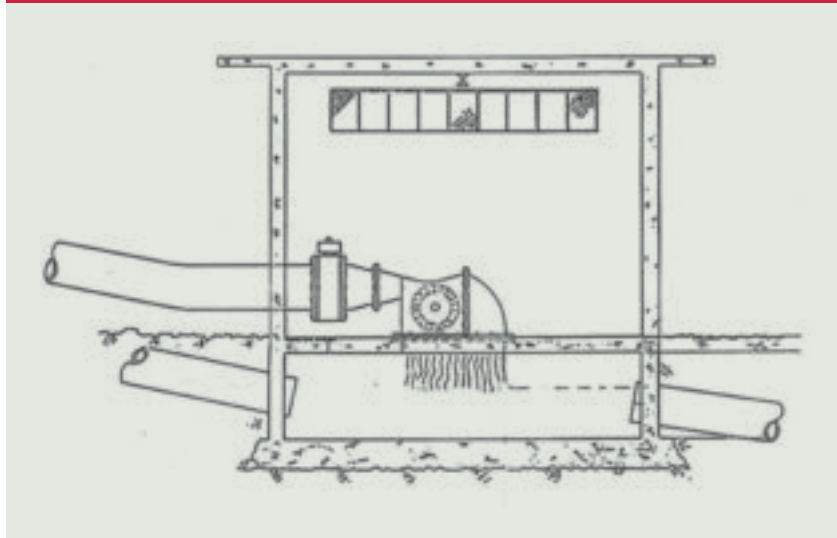
Figura 9. Tubería forzada



En el caso de la instalación de Kumbo, la tubería forzada será aérea, de polietileno de alta densidad, y tendrá una longitud de unos 60 metros.

Por razones de pérdida de carga, el diámetro de esta tubería para el caudal disponible no puede ser inferior a 250 mm.

Figura 10. Edificio de la central



#### Edificio de la central

Es necesario construir una pequeña edificación donde se alojen la turbina, el alternador y el cuadro eléctrico.

La turbina y el alternador deben anclarse al suelo del edificio median-

te su correspondiente bancada (ver figura 10).

Las figuras 17 y 18 son fotografías reales de los trabajos de instalación de una turbina Banki del doble de potencia, 15 kW, pero sirven de orientación acerca de los trabajos a realizar:

#### Obra civil Eléctrica

Como se ha dicho anteriormente es necesario conducir la electricidad producida desde la el salto de agua hasta la granja, a unos 2,5 km de distancia.

Para ello se estima que la mejor solución es una línea aérea monofásica a 1.000 V de tensión que transporte una potencia de 7 kW con una pérdida de potencia por efecto Joule en torno al 5%. Uno de los dos conductores se conectará a tierra para asegurar que está a 0 Voltios. Para ello serán necesarios dos transformadores de 1.000/230 V, uno junto a la microcentral que eleve la tensión y otro que la baje a 230 V en la granja.

La línea debe ser aérea y no enterrada para evitar daños ocasionados por los roedores.

Apoyos (altura 9m), los posibles materiales considerados son los siguientes:

Hormigón armado: pesados, voluminosos, precio elevado, requieren medios especiales (camión grúa) o pluma para su instalación.

Figura 11. Trabajos manipulación turbina Banki 15kW



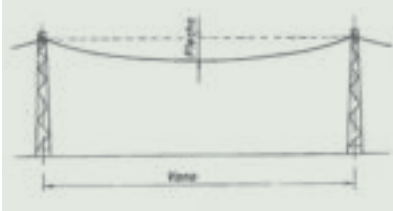
Figura 12. Acoplamiento de tubería de carga a turbina



**Figura 13. Transformador monofásico**



**Figura 14. Apoyos**



Metálicos: ensamblables, manejables por peso y volumen, precio elevado (superior a postes de hormigón), requieren medios especiales (camión grúa) o pluma para su instalación.

Fibra: ligeros y muy manejables, precio elevado (superior a postes metálicos), no requieren medios especiales para su instalación.

Madera (deben ser de crecimiento lento): resultan manejables para una brigada de 4 hombres, precio bajo, no requieren medios especiales para su instalación.

De estos tipos de apoyo el más duradero es el metálico, pero el más económico y además más disponible localmente, el de madera, por lo que será el que se emplee.

### Instalación fotovoltaica

Como se ha dicho anteriormente, se proyecta abastecer dos pequeñas clínicas mediante paneles fotovoltaicos. Estos paneles se instalarán en la primera fase del proyecto, junto con la turbina hidráulica. El consumo de cada

clínica es mínimo. Se ha estimado en 1.600 Wh/día.

Se instalarán bombillas de muy bajo consumo tipo LED, y para una de ellas se suministrará un pequeño refrigerador de corriente continua, también de muy bajo consumo, para conservación de vacunas y otras medicinas. Tanto bombillas como refrigerador serán suministrados desde España.

**Figura 15. Bombilla LED**



**Figura 16. Refrigerador para medicinas de corriente continua a 24V**



Con los valores de consumo, valorando la irradiación solar de la zona reflejada en el apartado 3 del presente documento, y teniendo como base una autonomía de la instalación de 3 días, se estima que es suficiente instalar un único panel fotovoltaico de 150 W para cada una.

La instalación de cada edificio genera una potencia pico de 150 W a una tensión de 24V en corriente continua. No requiere inversor que transforme a alterna, pero deben suministrarse los equipos (lámparas de iluminación tipo LED y refrigerador alimentado en corriente continua).

A continuación se describen brevemente los equipos que se instalarán:

*Panel fotovoltaico:*

- Silicio monocristalino.
- Potencia: 150 W.
- Tensión: 24 V.
- Certificado CE.

Existen también de 12 V, pero de cara a evitar pérdidas por efecto Joule o que los conductores sean de una menor sección, es conveniente que la tensión sea mayor:

**Figura 17. Panel fotovoltaico**



**Figura 18. Banco de baterías**



*Baterías*

Análogamente a lo indicado para la instalación microeólica se instalará un banco de baterías suficiente para proporcionar una autonomía de 3 días. Dicho banco incluirá un dispositivo que permitirá monitorizar su estado de carga y cortar el suministro de energía en caso necesario, evitando con ello dañar las baterías. ■