

PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL AGUA COMO INSTRUMENTO PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE DE COMUNIDADES RURALES LATINOAMERICANAS

Regalado Nación JM.

Presidente del Instituto de Desarrollo Económico Estratégico, Adaptativo Social –IDEEAS-³²
jmregaladonacion@yahoo.es

Nuestras comunidades rurales han sido testigo de la aplicación de diversos programas de desarrollo rural que si bien es cierto dieron resultados en algunas latitudes en otras no produjo el cambio que se esperaba. Es más las montañas altoandinas a pesar de ser estratégicas para lograr el desarrollo sostenible de nuestros países atraviesa por un serio problema de desertificación que se expresa en el deterioro de sus tierras, agua y suelos. Después del ensayo de sofisticadas tecnologías de desarrollo rural, con cuantiosas inversiones, aún no tienen la ansiada sostenibilidad ni la adecuada calidad de vida. Diseñando un sistema de fuerza motriz hidráulico limpio y patentable se logra alto valor agregado al racionalizar, optimizar, diversificar el uso del agua en sucesivas aplicaciones de ingeniería con la misma infraestructura, el mismo recurso hídrico y la misma inversión; sin el uso de combustibles ni electricidad y reduciendo sustantivamente los costos operativos de plantas industriales.

El sistema acciona una turbo máquina de flujo cruzado para un sistema de molienda de diversos productos (y cualquier maquinaria de microindustrias) y permite el aprovechamiento adicional del flujo remanente de drenaje, para la agroindustria, la acuicultura, la electricidad, el riego y saneamiento básico; que con visión de competitividad, agregando valor a los recursos naturales, acuícolas, ambientales, mineros, energéticos, financieros y humanos mejora la calidad de vida de una comunidad haciéndola autosuficiente. Este sistema hidráulico multipropósito construido en el río Utao en el Perú acciona un molino; simultáneamente produce electricidad, agua potable, peces y riego, lo proponemos a este Congreso para su adopción en otros países. El proyecto también permite aprovechar los subproductos de molienda para diversificar la producción hacia la crianza de ganado vacuno y menor, a otras industrias como la panificación, las pastas, cremas y diversos molidos o al ecoturismo (pesca de aventura). Fue expuesto en el XX COPIMERA CUBA 2,005 con marcado éxito. Pretende el establecimiento de un sistema plural y competitivo con atención a las demandas provenientes del sector rural, mediante el aprovechamiento sostenible de los recursos, garantizando la seguridad alimentaria y la biodiversidad.

Palabras clave: Sostenibilidad, biodiversidad, calidad de vida, autosuficiencia, turbomáquina

ABSTRACT

Our rural communities, after the test with numerous investments of sophisticated technologies of rural development, not yet have the longed for neither sustainability nor the suitable quality of life. Designing a system of clean and patentable hydraulic driving force value added when rationalizing is obtained stop, optimizing, to diversify the use of the water in successive applications of engineering with the same infrastructure, he himself hydric resource and the same investment; in that it is not used fuels nor electricity which very substantively reduces the operative costs of industrial plants.

The system drives a turbomachinery of flow crossed for a system of diverse product milling (and any machinery of microindustries) and allows to the additional advantage of the flow drainage surplus, for agroindustrie, the acuicultura, the electricity, the irrigation and basic cleaning; that with vision of competitiveness, adding value to natural, acuícolas, environmental, mining, power, financial and human the resources improves the quality of life of a community doing it self-sufficient. This hydraulic system multipurpose constructed in the Utao river drives a mill; simultaneously it produces electricity, potable water, fish and irrigation. The project also allows to take advantage of by-products milling to diversify the production towards the raising of cattle and smaller, to other industries like the baking, the worn out pastes, diverse creams and or the ecotourism. It tries the establishment of a plural and competitive system with attention to the originating demands of the rural sector, by means of the sustainable advantage of the resources, guaranteeing the nourishing security and the biodiversity

Key words: Sustainability, biodiversity, quality of life, self-sufficiency, turbomachinery

³²Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, exdocente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Presidente del Instituto de Desarrollo Económico Estratégico Adaptativo y Social - IDEEAS

INTRODUCCIÓN

El mundo en la actualidad conoce un período marcado por la escasez de uno de los bienes ambientales más cotizados: el agua. El Perú dispone de 269 cuencas; gracias a una topografía privilegiada en nuestra costa, sierra y selva forman pequeños saltos, para la generación de fuerza motriz hidráulica que transformada en energía mecánica permite el accionamiento cualquier maquinaria industrial. Por otro lado la evolución de estos sistemas trae resultados de impacto en la ingeniería y en lo social dando origen a lo que he denominado: Sistemas Hidráulicos Multipropósito (SHM). Son proyectos que con una misma infraestructura, el mismo recurso hídrico y una misma inversión pueden lograr varias aplicaciones sucesivas y simultáneas de ingeniería, a bajo costo.

Para hacer notar la diferencia de la situación ex ante y ex post, presentamos un resumen de cómo se concibió el proyecto.

En el distrito de Churubamba (Huanuco), 3,000 productores afectados por el deficiente manejo de sus recursos hídricos con fuerte incidencia en el aprovechamiento del agua tanto para consumo humano como para riego (producen con agua de lluvias y suelos en seco); impedidos de articularse rentablemente al mercado con bajos volúmenes y elevados costos de producción; baja rentabilidad y sin valor agregado; deciden mejorar su nivel de competitividad, nivel de ingresos y su acceso a los servicios de salud y educación.

El aporte del proyecto en la solución del problema es trascendente al planificar, racionalizar, diversificar y optimizar el uso de agua, alivia su escasez en seco; permitiendo más campañas de producción por año, articular al mercado productos con valor agregado, con mejor calidad, precios y productividad mejorando el nivel de ingresos y la calidad de vida de la población y consecuentemente un mayor acceso a los servicios educación y salud de calidad.

En la actualidad, la vida y el bienestar de millones de personas corren peligro a causa de la escasez del agua. Impidamos que una sola gota de agua que cae a tierra llegue al mar, sin que antes haya servido a la gente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para resolver el problema caracterizado, en coherencia con la hipótesis básica se plantea el uso de los siguientes materiales y equipos.

Materiales

1. Materiales:

Medios logísticos necesarios para ejecutar la parte experimental.

2. Equipos hidráulicos:

De captación (barraje y bocatoma), conducción (canal principal), almacenamiento (cámara de carga), sedimentación (desarenador), impulsión (tubería de fuerza), regulación (válvula compuerta), drenaje (vertedero y canal de desfogue)

3. Maquinaria y Equipos:

Turbomáquina, molino de disco, generador síncrono, tostadora, seleccionadora de cereales, deshumificador manual, morronera, laminadora, trilladora, elementos de máquinas (sistema de transmisión), etc.

4. Instrumentos:

Controlador de presión, manómetro, pinza amperimétrica, estabilizador de voltaje, supresor de picos, multímetro, tacómetro, teodolito y nivel, maletín de herramientas y accesorios, equipo de aforo, etc.

5. Muebles y Enseres de Oficina:

Métodos y técnicas:

Se realizaron el llenado de encuestas para una matriz de involucrados, en las comunidades del Distrito de Churubamba, se procesaron y presentaron siguiendo los lineamientos del método estadístico. Se mostraron los dibujos taquimétricos de los planos topográficos con Autocad Se practicaron aforos para la medición de caudales. Se calcularon la potencia, velocidad, espesores y diámetros del rodete y ejes, las dimensiones del inyector, álabes y carcasa de la turbomáquina usando fórmulas de la ASME. Se calcularon los esfuerzos por corte y flexión mediante fórmulas de la AISC y se calcularon las pérdidas por fricción con la ecuación de DARCY en forma iterativa para diferentes valores de caudal y altura de salto. Se calcularon los parámetros de diseño de los elementos de máquina y el número específico de revoluciones y de caudal N_s y N_q para condiciones variables de salto y caudal. Se verificaron la medición de los parámetros de diseño para el

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

cálculo de las pérdidas de flujo y el rendimiento de los equipos de planta. Se efectuaron la toma de datos con instrumentos incorporados y otros de uso manual (correntómetros, tacómetros, manómetros, termómetros, etc.). Se comprobaron las pérdidas por fricción, choque y volumétricas. Se contrastaron las curvas de funcionamiento: Torque, vs. R.P.M., Torque vs. Potencia y Potencia vs. R.P.M. Se evaluaron los datos teóricos y experimentales; la granulometría y calidad de los procesados con mallas de diferente diámetro.

Estimación del volumen de producción:

Siguiendo la técnica de muestreo aleatorio simple, se efectuó una encuesta a un número de productores determinado de acuerdo al método de selección del tamaño de muestras para la estimación de medias, para lo cual se practicó previamente un muestreo piloto. La varianza poblacional (S^2) y la desviación estándar del estimador (V)

$$S^2 = \frac{1}{Np-1} \sum_{i=1}^{20} (y_{i1} - \bar{y})^2$$

$$Y = \frac{1}{Np} \sum_{i=1}^{20} y_{i1}$$

n = Tamaño verdadero de la muestra

$$:V = \frac{d^2}{t^2}$$

$$n_0 = \frac{S^2 t^2}{d^2}$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

N = 3000

Que arrojó una producción de 181.3 T.M. de cereal (trigo, cultivo referente)

La capacidad instalada y la capacidad real de producción se determinaron con el volumen de producción, la demanda real del mercado, los recursos financieros disponibles; el caudal del recurso hídrico, y las condiciones topográficas del terreno. En este caso se obtuvo una capacidad de 150 -250 Kg/hr de producto procesado.

Según Sviatoslav Crochin (referencia bibliográfica N° 6) recomienda para el diseño de obras hidráulicas tomar un caudal de diseño del 75% de los caudales clasificados según una data de aforos, que garantiza un 75% del tiempo aprovechado.

En la elaboración del Expediente Técnico para la ejecución de las obras civiles y electromecánicas, se tuvo en cuenta el diseño hidráulico (que por espacio resumimos el cálculo) de los siguientes equipos:

- Obras de Captación:

Bocatoma y Ventana de Captación: Se eligió la de toma directa porque la demanda es mucho menor que el caudal disponible. Según el criterio de máximo aprovechamiento con el mínimo costo, ubicamos una sección donde el tirante fue favorable a la condiciones del cauce para evitar el transporte de sedimentos. La estructura es con cierre parcial del cauce del río, con una ventana de captación lateral ya que la pendiente del terreno es menor al 10%. Se construyó un enrocado a la salida del dissipador de energía para que no erosione y desestabilice la estructura. La ventana de captación se diseño con la formula de Francis arrojando $h = 0.25$ m; $b = 0.50$ m, con rejas de fierros con 4 espacios y 3 barrotes de $d = 1$ "

- Diseño del Canal Principal:

La sección del canal se adecuó al caudal existente con una pendiente compatible con la naturaleza del revestimiento que se escogió en función a factores de costo, seguridad, disponibilidad de materiales, etc. y con una superficie mojada mínima que conduce el caudal máximo. Se utilizó la fórmula de Chezy (referencia bibliográfica N° 9), obteniendo las dimensiones: $b = 0.45$ m; $h = 0.41$ m y con una velocidad de $V_0 = 0.78$ m/seg, para un número de Reynolds $< 2,000$.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- Diseño de la Cámara de Carga y Desarenador:

Para la velocidad del agua en el canal V_0 , pendiente S , se calculó un volumen de almacenamiento de $V = 2.58 \text{ m}^3/\text{seg}$. El desarenador sirve para reducir la sedimentación de los materiales sólidos como arenas que vienen por el canal así como también su eliminación.

- Diseño de la Tubería de Fuerza:

Es la que transforma la energía de posición en energía de presión para el funcionamiento de la turbina. Está sometida a presión de carga estática del agua y presiones producto del golpe de ariete. Tomando en cuenta las pérdidas de fricción y locales se calculó el diámetro considerando su costo, tratando de compensar ambas variables. Para conocer la longitud de la tubería y las inclinaciones y los respectivos tramos nos sirve el perfil longitudinal del terreno. La longitud total de la tubería resultante del cálculo es de 23 m. dividido en seis tramos para una pendiente $S = 0.47$ con un diámetro $d = 11"$

- Casa de Máquinas y Almacenes:

Alberga la turbomáquina, el molino, el generador, los sistemas de transmisión con sus respectivas cimentaciones.

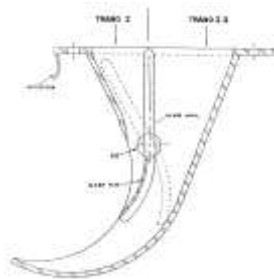
Adyacente a esta sala de máquinas se encuentra los ambientes del almacén de cereales y de harinas. La sala de máquinas mide $6.00 \times 4.40 \text{ m}$ y los almacenes guardan 60 sacos cada uno.

- Sistema de Transmisión:

Tiene doble etapa hacia al molino y doble hacia al generador. Utiliza fajas y poleas en "V" de aluminio. Consta de una polea de $De = 18"$ de cuatro canales, para un eje de $2"$, polea de $De = 6"$ cuatro canales para eje de $1"$, polea de $De = 10"$ tres canales para eje de $1"$, para el generador de luz modelo ST - 2, de 2.7 HP monofásico; 2 chavetas para eje de $2"$, cuatro fajas en "V" B103, 2 fajas en "V" B69.

- Diseño Hidráulico y Mecánico de la turbina

Para realizar el cálculo hidráulico procedemos a efectuar el análisis teórico de la pérdida de presión por fricción que se produce en cada tramo del inyector que debe ser del mismo valor para una relación de caudal tal que mantenga la misma velocidad media en todos los puntos a la salida del inyector. Dividiendo en 20 partes cada tramo de longitud X_i y rectángulo de dimensiones B y L_i . Aplicando en la siguiente figura, la ecuación de DARCY:



$$\Delta H = f \frac{L}{D_h} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Con diámetro hidráulico:

$$D_h = \frac{2 L_i \times B}{(L_i + B)}$$

$$V = \frac{Q}{L_i \times B}$$

$$\Delta H_i = \frac{f_i X_i Q_i^2 (L_i + B)}{4g \times B^3 \times L_i^3}$$

$$\Delta H_i' = \frac{f X_i Q_1^2 (L_i + B)}{4g \times B^3 \times L_i^3}$$

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

La pérdida total por fricción en el tramo 1:

$$\Delta H_1 = \sum_{i=1}^{20} \Delta H_1'$$

Calculamos K_c , si no es igual al asumido se calcula C_i y B_i , las dimensiones de entrada y salida de cada tramo, los arcos de admisión cuando los valores de K_c son iguales; se divide el otro tramo en 20 partes:

$$\Delta H_i'' = \frac{f \times i Q^2 (A_i + B)}{4 g B^3 A i^3}$$

$$\Delta H_2 = \sum_{i=1}^{20} \Delta H_i''$$

Si las pérdidas de presión son iguales se asume una nueva relación de caudal A y se recalcula de nuevo. Verificando queda así:

$$\Delta H_1 = \frac{0.0185(0.057)^2 (0.10) \sum_{i=1}^{20} \left[\frac{L i + 106}{L i^3} \right]}{4 \times 9.8 (0.106)^3} = 2.93 \text{ m.}$$

$$\Delta H_2 = \frac{0.0185 (0.068)^2 (0.17) \sum_{i=1}^{20} \left[\frac{A i + 0.106}{A i^3} \right]}{4 \times 9.8 (0.106)^3} = 2.93 \text{ m}$$

Verificando el N_q de:

$$Q = \frac{KW}{\eta \cdot g \cdot H n} = 0.125 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$n = 60 K_u K_c (2g H n)^{1/2} \text{Cos } \alpha_i =$$

$$= 288 \text{ RPM}$$

$$N_q = \frac{n(Q)^{1/2}}{H^{3/4}} = \frac{288(0.125)^{1/2}}{9^{3/4}} = 20$$

$$8 < N_q < 68 \quad \text{Ok!}$$

- Diseño Mecánico del Inyector:

Se hicieron los análisis de las fuerzas interactuantes sobre el álabe móvil, el eje, el álabe fijo y las paredes del inyector. El torque máximo de apertura del álabe móvil:

$$T_M = 7,125 \cdot 10^{-3} (H \times B_i \times D_e)$$

El esfuerzo cortante debido a éste torque:

$$T = \frac{T_M}{0.20 b a \times e a^2}$$

$$e a = 0.075 D_e = 0.075 \times 0,416 = 0.03 \text{ m.}$$

$$T_M = 7,125 \times 10^{-3} (9000 \text{ Kg/m}^2 \times 0.16 \times 0.416 \text{ m}) = 3.14 \text{ Kg-m}$$

$$b a = \underline{3.14 \times 10} =$$

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

$$0.08 \times 21 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 (0.03)^2 \text{ m}^2 \\ = 0.02 \text{ m}$$

El valor del diámetro del eje del álabe móvil:

$$D_a^2 = (e_a^2 + b_a^2) + (0.03)^2 + (0.02)^2$$

$$D_a = 0.04 \text{ m.}$$

Se verificaron que los espesores de los álabes móvil y fijo son los correctos; para ello lo dividimos en dos partes, una empotrada y otra en voladizo. Para un acero inoxidable con esfuerzo de fluencia de $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ se comprobaron por flexión y torsión los espesores: $e_1 = 0.024 \text{ m}$; $e_a = 0.03 \text{ m}$. y el diámetro del eje $d_a = 0.04 \text{ m}$.

Asimismo verificamos los espesores por flexión y corte en las paredes rectangular y triangular del inyector para el mismo tipo de acero obteniendo los valores de: $e = 0.002 \text{ m}$. y $t = 0.0026 \text{ m}$.

- Diseño Hidráulico del Rodete:

Tomamos en cuenta el análisis de los diagramas de velocidades en la entrada, en el interior y salida del agua del rodete. A su vez la eficiencia hidráulica se calcula mediante la fórmula

$$\eta'' = U^2 C^2 \cos \alpha_2 - U'^2 C'^2 \cos \alpha_2$$

Después del cálculo se obtiene:

$$\eta = 0.85$$

Para la potencia hidráulica usamos:

$$P_h = 10 Q \times H \times \eta = 11.14 \text{ KW.}$$

Se emplearon el lenguaje C++ y el Mat Lab, para realizar operaciones para determinar los niveles de pérdidas en los tramos 1 y 2 del ingreso al inyector de la turbina y para el caso de trazado de gráficas del inyector y carcasa.

RESULTADOS

Son los productos que se obtienen con la investigación y que usadas en conjunto solucionan el problema y contribuyen al desarrollo científico, generando conocimiento (información y métodos), y servicios (transferencia de conocimiento y bienes). Entre estos están el manejo de una base de datos de productores, agentes, precios, demanda, estacionalidad y normalización de productos y servicios. Al término del proyecto se conocerán los parámetros de diseño de la microcentral operando en condiciones nominales, los rangos de N_q y N_s para valores de salto, caudal y carga variable para su estandarización y puesta en el mercado. Se tendrá un registro de aforos del recurso hídrico.

El proyecto genera demandas de servicios de desarrollo empresarial financieros y no financieros. Al término del proyecto debe conformarse cadenas productivas entre los productores, proveedores de servicios de desarrollo empresarial y los mercados a fin de garantizar su sostenibilidad, así como también diversificación productiva

DISCUSION

Los sistemas de fuerza motriz hidráulica tienen la mejor opción desde el punto de vista ambiental, esto debido a que el sistema convencional requiere de electricidad o combustible cuyo costo encarece el proceso productivo. Por el contrario los sistemas de fuerza motriz térmica requieren la implementación de medidas para reducir el impacto ambiental, siendo una de las iniciativas la reducción gradual del uso de energía térmica.

Los sistemas de molienda a su vez pueden ser operados con energía solar o eólica, pero no compiten con los hidráulicos en el sentido que sólo se aplican a zonas con presencia de calor constante diario, mientras que el flujo de agua puede regularse fácilmente en los aliviaderos de las cámaras de carga y con las válvulas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Coz Pancorbo Federico, Diseño de una turbina Michell – Banki, Tesis Profesional U.N.I. Lima – Perú, 1961.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

2. Charles Paul, Encuesta por Muestreo, Editorial Prentice - Hill Hispanoamericana S:A., N. De Juárez México, 1995.
3. Guaman Martín, Diseño, Construcción y Pruebas para analizar el comportamiento de la turbina Michell-Banki, Proyecto de Grado, Bogotá – Colombia, 1977.
4. Regalado Nación José Mauricio, Diseño de Microcentrales Hidráulicas para Microindustrias Rurales, U.N.I. Lima – Perú, 2001.
5. Shocklistsch Armin, Construcciones Hidráulicas, Editorial El Ateneo, Buenos Aires – Argentina, 1978
6. Sviatoslav Crochin, Diseño Hidráulico, Editorial Mc Graw, Madrid – España, 1982.
7. Tzugo Nozaqui, Guía para la elaboración de Proyectos destinados a la Electrificación Rural en el Perú, Lima – Perú, 1960.
8. Carlos Amat y León, La alimentación en el Perú, Lima – Perú, 1978.
9. Schaum J. Flujo en Canales Abiertos Editorial Mc Graw, Madrid – España, 1992.