



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# **Estudio de soluciones para el diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico en el río Yaguajal en la comunidad de Los Corozos, provincia de Santiago Rodríguez (República Dominicana)**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
GRADO DE INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE  
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**Autor: Adelino Pastrana Pavía  
Tutor: Abel Solera Solera  
Curso 2016-2017**

**Valencia, Septiembre de 2017**

## **Índice**

<b>ANEJO I Ficha de Síntesis del Sistema.....</b>	<b>4</b>
<b>ANEJO II Estudio Económico .....</b>	<b>7</b>
<b>ANEJO III Mapa Topográfico de la Zona y Ubicación de los Componentes del Sistema .....</b>	<b>11</b>
<b>ANEJO IV Metodología y Resultados de las Mediciones de Caudal.....</b>	<b>13</b>
<b>ANEJO V Obras Hidráulicas y Red de Distribución Eléctrica.....</b>	<b>17</b>
<b>ANEJO VI Características del filtro Aquashear .....</b>	<b>24</b>
<b>ANEJO VII Diseño de la Casa de Máquinas.....</b>	<b>26</b>
<b>ANEJO VIII Levantamiento de viviendas .....</b>	<b>28</b>
<b>ANEJO IX Características del generador.....</b>	<b>30</b>

# ANEJOS

# **ANEJO I**

## **Ficha de**

## **Síntesis del**

## **Sistema**

## DATOS DEL MUNICIPIO

<b>Nombre de la comunidad beneficiaria</b>	Los Corozos
<b>Ubicación (municipio, provincia)</b>	Sabaneta, Santiago Rodríguez
<b>Número de familias beneficiadas</b>	14
<b>Tipo de ingreso</b>	Agricultura y ganadería

## RECURSOS NATURALES

<b>Área geográfica</b>	Vertiente norte de la Cordillera Central
<b>Fuente de agua</b>	Río Yaguajal
<b>Caudal de estiaje</b>	4.891 gal/min (308 l/s)
<b>Caudal de diseño</b>	4.000 gal/min (252 l/s)
<b>Salto bruto</b>	27 m
<b>Longitud total de la tubería</b>	1.062 m
<b>Distancia entre cámara de captación y desarenador</b>	30 m
<b>Diferencia de altura entre cámara de captación y desarenador</b>	0.5 m

## DATOS TÉCNICOS DEL SISTEMA

<b>Potencia de generación</b>	40 kW
<b>Número de viviendas beneficiadas</b>	14
<b>Tipo de turbina</b>	Banki (Flujo cruzado)
<b>Generador</b>	Sincrono monofásico, 110/220 V, 60 Hz, 1.800 rpm
<b>Tubería</b>  Tipo (Cantidad)	Hierro de 20" (5 tubos de 6 metros)  PVC SDR26 de 16" (52 tubos de 6 metros)  PVC SDR41 de 16" (120 tubos de 6 metros)
<b>Red de distribución eléctrica</b>  Longitud de la red eléctrica  Voltaje de distribución  Voltaje al usuario	1.350 m  7200 V  110/220 V

# **ANEJO II**

## **Estudio**

### **Económico**

No.	Partidas y especificaciones	Pesos dominicanos (RD \$)	Euros (€)
1.	Personal	336.000	6.720
2.	Adquisición material e instalación de obras hidráulicas (presa, cámara de captación, desarenador, casa de máquinas) *	1.600.000	32.000
3.	Adquisición e instalación de tubería	4.152.680	83.053'6
4.	Adquisición de material e instalación de las redes eléctricas ***	1.000.000	20.000
5.	Adquisición e instalación material para conexiones residenciales ***	50.000	1.000
6.	Adquisición de turbina y generador (40 kW)	1.950.000	39.000
7.	Instalación de turbina, generador y sistema de control **	200.000	4.000
8.	Capacitación técnicos **	100.000	2.000
9.	Administración **	100.000	2.000
	<b>TOTAL</b>	<b>9.488.680</b>	<b>189.773'6</b>

### 1. Personal.

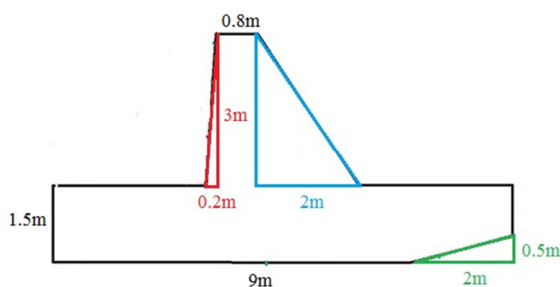
Para el cálculo del personal se hace una estimación muy sencilla:

- ✓ (80 días de trabajo) x (14 familias) = 1120 días de trabajo total
- ✓ 1 jornal = 300 RD \$

Coste personal = 1120 x 300 = 336.000 RD \$

### 2. Adquisición de material e instalación de obras hidráulicas

- a) Para realizar la **medición del hormigón** que se va a utilizar se ha calculado su superficie transversal y se multiplica por el ancho de la presa que son 18m.





$$S_1 = (1'5 \times 9) - \frac{1}{2} (2 \times 0'5) = 13 \text{ m}^2$$

$$S_2 = (3 \times 0'8) + \frac{1}{2} (0'2 \times 3) + \frac{1}{2} (2 \times 3) = 5'7 \text{ m}^2$$

$$S_T = 13 + 5'7 = 18'7 \text{ m}^2$$

$$V_T = 18'7 \times 18 = \mathbf{336'6 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}}$$

Se ha mayorado el volumen de hormigón debido a la falta de precisión en las mediciones, es decir no toda la presa se va a construir de hormigón, sino que también se colocaran materiales sueltos y se anclará la presa con las rocas existentes.

El resto de materiales que se utilizan para la fabricación del hormigón se obtienen del río (arenas, gravas, agua), y por tanto se computan como horas de trabajo del personal.

- b) Para realizar una **medición aproximada del cemento**, se supone que para cada  $\text{m}^3$  de hormigón se usan  $0'3 \text{ m}^3$  de cemento, y tomando la densidad del cemento  $1500\text{kg/m}^3$ , un saco de 30kg tendría un volumen aproximado de  $0'02 \text{ m}^3$ . Por tanto, se usarían:

$$V = 336'6 \times 0'3 = \mathbf{100'98 \text{ m}^3 \text{ de cemento}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de sacos} = 101 / 0.02 = 5000 \text{ sacos de cemento}$$

El precio del cemento es de 300 RD \$ por saco (6 €)

$$\text{Precio cemento} = 5000 \times 300 = 1.500.000 \text{ RD \$}$$

- c) En el caso de la **medición de los bloques**, tanto para construir la casa de máquinas como el desarenador, se calculan midiendo los metros de la fachada y el perímetro del desarenador y multiplicándolos por su altura.

$$\text{Fachada} = 6 + 6 + 8 + 8 = 28$$

Se sabe que cada bloque es de  $0'3\text{m}$ . Por tanto:

$$\text{N}^\circ \text{ bloques} = 28 / 0'3 = 93'33 \text{ bloques en la primera fila}$$

Como se levanta un altura de  $2'2$  metros que corresponde a 7 alturas de bloques:

$$\text{N}^\circ \text{ bloques casa de máquinas} = 93 \times 7 = \mathbf{650 \text{ bloques aproximadamente}}$$

$$\text{Perímetro desarenador} = (10 + 1'5) \times 2 = 23\text{m}$$

Y como tiene una altura de  $1'2\text{m}$ , es decir 4 alturas de bloques

$$\text{N}^\circ \text{ bloques} = (23 / 0.3) \times 4 = \mathbf{307 \text{ bloques aproximadamente}}$$

Aproximamos a un total de 1000 bloques y cada unidad tiene un precio de 30RD\$ (0'6€)

**Precio bloques =  $1000 \times 30 = 30.000$  RD\$**

### **3. Adquisición e instalación de tubería.**

El precio unitario de los tubos es el siguiente:

- ✓ Tubo de PVC SDR26 (o SDR41) de 16" → 22.690 RD \$
- ✓ Tubo de hierro de 20" → 50.000 RD \$

Total =  $(120 \times 22.690) + (52 \times 22.690) + (5 \times 50.000) = 4.152.680$  RD \$

\*\* El resto de precios de cada partida se han tomado de otros proyectos realizados por el PPS en condiciones similares por falta de información.

\*\*\* Prácticamente, todo los costes asociados a la red eléctrica son sufragados por la UERS, empresa pública del gobierno dominicano.

**ANEJO III**

**Mapa**

**Topográfico de**

**la Zona y**

**Ubicación de**

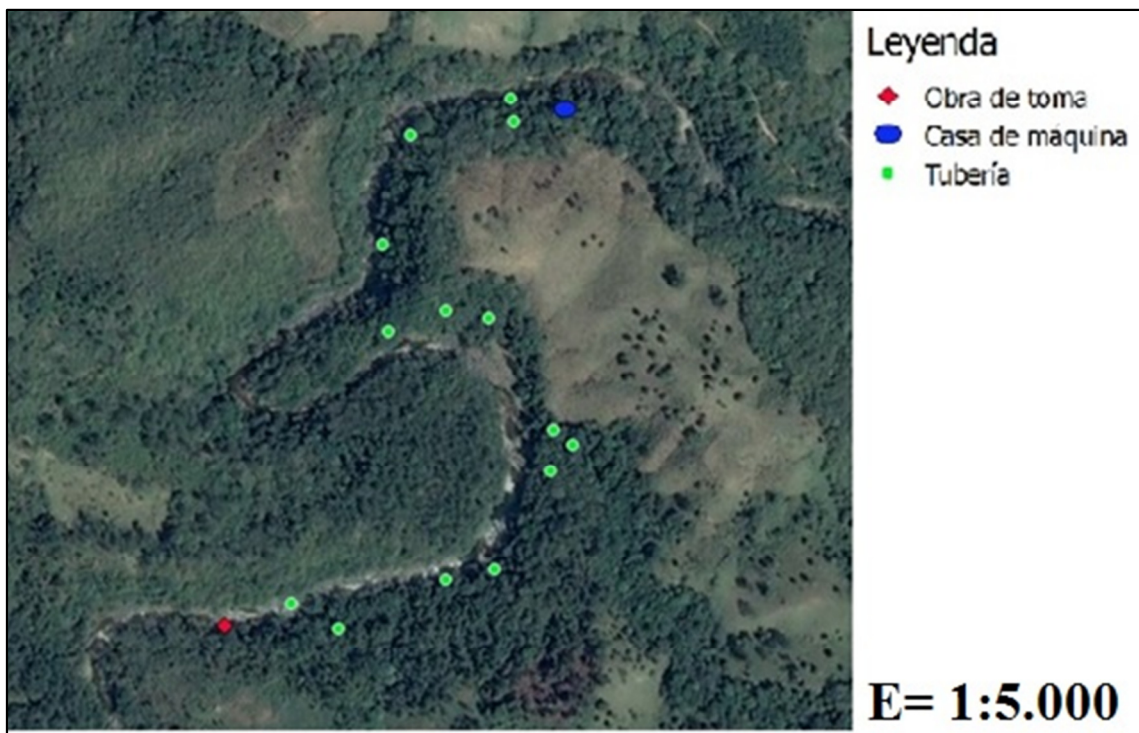
**los**

**Componentes**

**del Sistema**

En el siguiente mapa topográfico aparecen detallados los puntos significativos de la vertiente derecha del río Yaguajal, tomados mediante GPS en las diversas visitas de campo. Las coordenadas exactas en el sistema de referencia NAD27 UTM aparecen en el Anexo V.

Para la construcción del mapa se ha utilizado el programa QGIS que es un Sistema de Información Geográfica de software libre, de esta manera se ha unificado criterios con el PPS para que le pueda ser útil en la futura construcción del sistema.



# **ANEJO IV**

## **Metodología y Resultados de las Mediciones de Caudal**

## DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO DE CAUDAL

Para realizar el cálculo de caudal, en primer lugar se escoge un perfil transversal del río donde se puedan asumir condiciones de flujo laminar. Este perfil se divide en tramos equidistantes, en el caso específico 9 tramos de 50 cm cada uno (figura de la página siguiente). En cada uno de esos puntos, se mide la profundidad, obteniendo el área mojada en la sección específica.

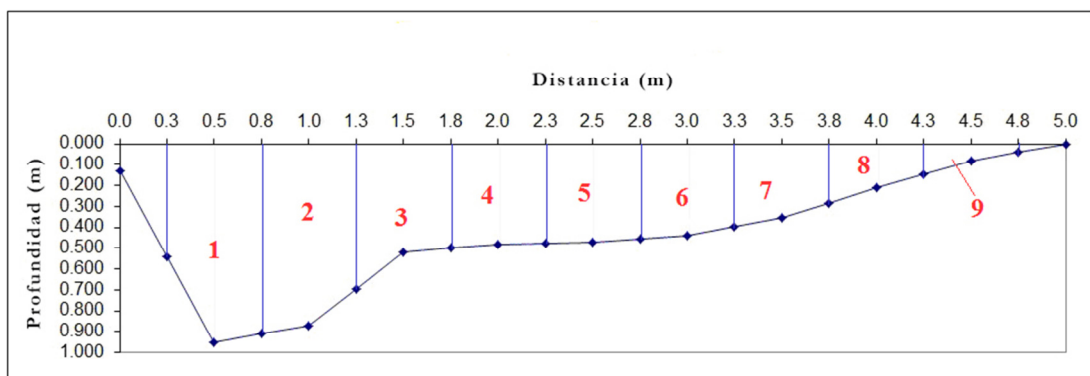
En segundo lugar, para la estimación de la velocidad media de la corriente, se usa el caudalímetro, despreciándose los valores en los extremos del río, cuya velocidad del agua es muy próxima a 0. Se toman velocidades del flujo en la superficie, a una profundidad media y en el fondo de cada uno de los puntos marcados

La velocidad estimada en cada punto es aplicada a la sección trapezoidal correspondiente, calculando los flujos. El flujo total deriva del sumatorio de los flujos estimados en cada una de las secciones.



## DATOS OBTENIDOS EN LA SECCIÓN DE MEDICIÓN

Posición	Margen Izquierdo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Margen derecho
Distancia (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Profundidad	0.13	0.95	0.87	0.52	0.48	0.47	0.44	0.35	0.21	0.08	0.00
Velocidad superficial	0.2	0.20	0.40	0.30	0.30	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Velocidad (mitad profundidad)	0.1	0.10	0.20	0.20	0.30	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Velocidad en el fondo	0	0.00	0.00	0.20	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Velocidad Media	0.10	0.10	0.20	0.23	0.27	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00



Sección transversal del río

## CAUDAL

Posición	Margen izquierdo		1		2		3		4		5		6		7		8		9		Margen derecho
Distancia (m)	0	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0	4.3	4.5	4.8	5
Profundidad (m)	0.13	0.54	0.95	0.91	0.87	0.695	0.52	0.5	0.48	0.475	0.47	0.455	0.44	0.398	0.355	0.283	0.21	0.145	0.08	0.04	0
Velocidad superficial	0.2		0.20		0.40		0.30		0.30		0.20		0.10		0.00		0.00		0.00		0
Velocidad (profundidad media)	0.1		0.10		0.20		0.20		0.30		0.20		0.10		0.00		0.00		0.00		0
Velocidad de fondo	0		0.00		0.00		0.20		0.20		0.10		0.00		0.00		0.00		0.00		0
Velocidad Media (m/s)	0.1	-	0.10	-	0.20	-	0.23	-	0.27	-	0.17	-	0.07	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0

En base a los datos recolectados, se calcula un caudal de 4.891 gal/min, correspondientes a **308 l/s**



**ANEJO V**

**Obras**

**Hidráulicas y**

**Red de**

**Distribución**

**Eléctrica**

# POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DEL AGUA

## VERTIENTE IZQUIERDA

<b>Población</b>	Los Corozos
<b>Día de la Visita</b>	20/10/2016

Punto	Coordenadas UTM NAD27		Altura (m)	Hora (hh:mm)	Notas
	X	Y			
<b>T/D</b>	253815	2144491	468 484	12:51 PM 3:31 PM	Obra de toma W=18m H=3m
<b>P1</b>	253841	2144486	467	12:56 PM	Alineación tubería
<b>P2</b>	253897	2144491	468	1:00 PM	
<b>P3</b>	253922	2144492	468	1:04 PM	
<b>C1</b>	253926	2144490	469	1:06 PM	Cañada de 15 m
<b>C2</b>	253946	2144512	477	1:11 PM	Cañada de 10 m
<b>P4</b>	253995	2144527	473	1:17 PM	
<b>C3</b>	254014	2144531	472	1:20 PM	Cañada de 15 m
<b>P5</b>	254044	2144520	464	1:25 PM	Margen del río
<b>P6</b>	254051	2144525	465	1:29 PM	Curva conflictiva
<b>P7</b>	254065	2144535	468	1:34 PM	2a curva conflictiva
<b>P8</b>	254088	2144561	473	1:36 PM	
<b>P9</b>	254110	2144595	468	1:41 PM	
<b>P10</b>	254114	2144624	469	1:44 PM	
<b>P11</b>	254074	2144683	468	1:46 PM	
<b>P12</b>	254028	2144669	464	1:49 PM	
<b>C4</b>	253979	2144665	460	1:52 PM	Cañada de 5m
<b>P13</b>	253906	2144657	459	1:57 PM	
<b>P14</b>	253899	2144684	459	2:02 PM	
<b>P15</b>	253897	2144709	457	2:07 PM	Derrumbes tierra
<b>P16</b>	253919	2144733	459	2:13 PM	Dentro de la ribera del río
<b>P17</b>	253993	2144815	474	2:19 PM	
<b>P18</b>	254000	2144873	473	2:37 PM	
<b>P19</b>	254020	2144933	466	2:38 PM	
<b>C5</b>	254013	2144942	458	2:42 PM	Cañada de 8 m
<b>P20</b>	254060	2144972	461	2:49 PM	
<b>P21</b>	254122	2144979			Parada dentro de la finca
<b>CM</b>	254164	2144960	457	2:59 PM	Casa de máquinas

## Corrección de altitud

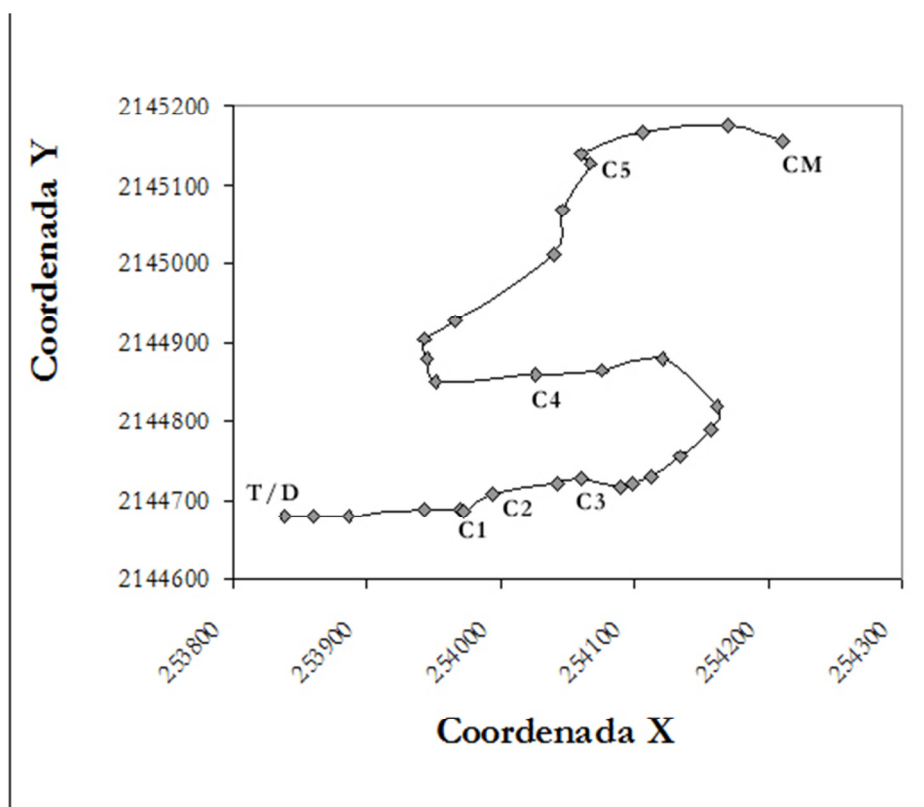
	Altura (m)	Distancia (m)	Diferencia de altura (m)	
<b>T/D</b>	484	0	0	T = Obra de Toma
<b>P1</b>	482	25	-2	D = Desarenador
<b>P2</b>	483	80	-2	P = Punto
<b>P3</b>	482	104	-2	C = Cañada
<b>C1</b>	483	107	-2	CM = Casa de
<b>C2</b>	491	137	-2	Máquina
<b>P4</b>	486	188	-2	
<b>C3</b>	484	207	-2	
<b>P5</b>	476	237	-8	
<b>P6</b>	476	246	-8	
<b>P7</b>	479	262	-8	
<b>P8</b>	483	297	-8	
<b>P9</b>	478	336	-8	
<b>P10</b>	478	364	-8	
<b>P11</b>	477	435	-8	
<b>P12</b>	473	483	-11	
<b>C4</b>	468	532	-16	
<b>P13</b>	467	581	-17	
<b>P14</b>	466	609	-18	
<b>P15</b>	464	632	-21	
<b>P16</b>	465	665	-21	
<b>P17</b>	479	774	-21	
<b>P18</b>	476	830	-21	
<b>P19</b>	469	886	-21	
<b>C5</b>	460	899	-24	
<b>P20</b>	462	954	-24	
<b>CM</b>	457	1062	-27	

### Nota:

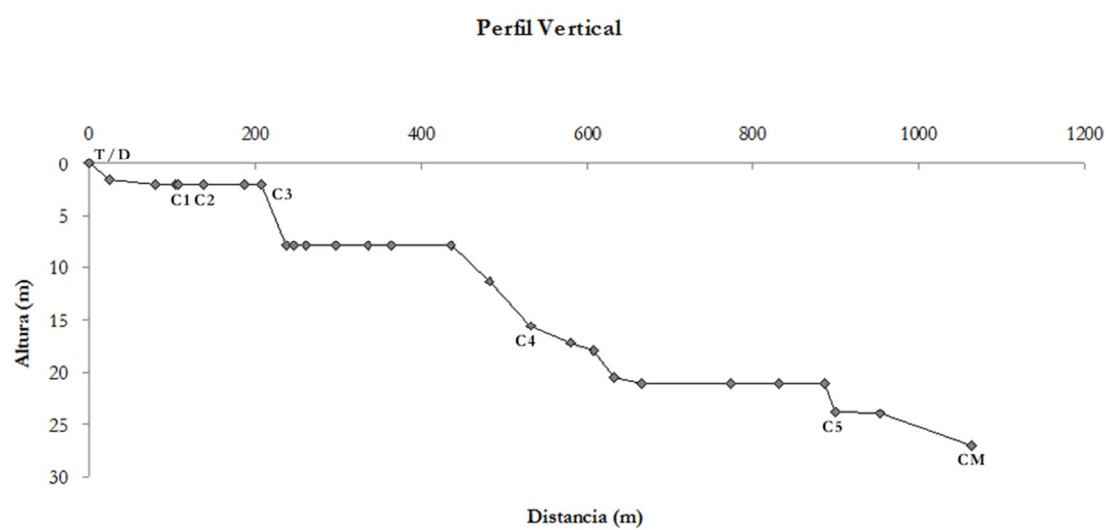
Como se puede observar, en la primera tabla se indican las cotas que se iban tomando en la visita de campo y la hora a la que fueron tomadas. De esta manera, se puede comprobar que el perfil de la tubería iba descendiendo.

Como el recorrido de la tubería era complicado y se caminaba lentamente, se tardaban varias horas en recorrer el trayecto y tomar mediciones. Y debido a las lluvias que solían haber por la tarde, la presión barométrica aumentaba, es por eso que al finalizar se tomaba una nueva medición de altitud de la obra de toma, en la menor diferencia de tiempo posible y se hacía una corrección de la altitud en todos los puntos.

Sistema de conducción del agua - En planta. **VERTIENTE IZQUIERDA**



Sistema de conducción del agua - Perfil Longitudinal. **VERTIENTE IZQUIERDA**



**VERTIENTE DERECHA**

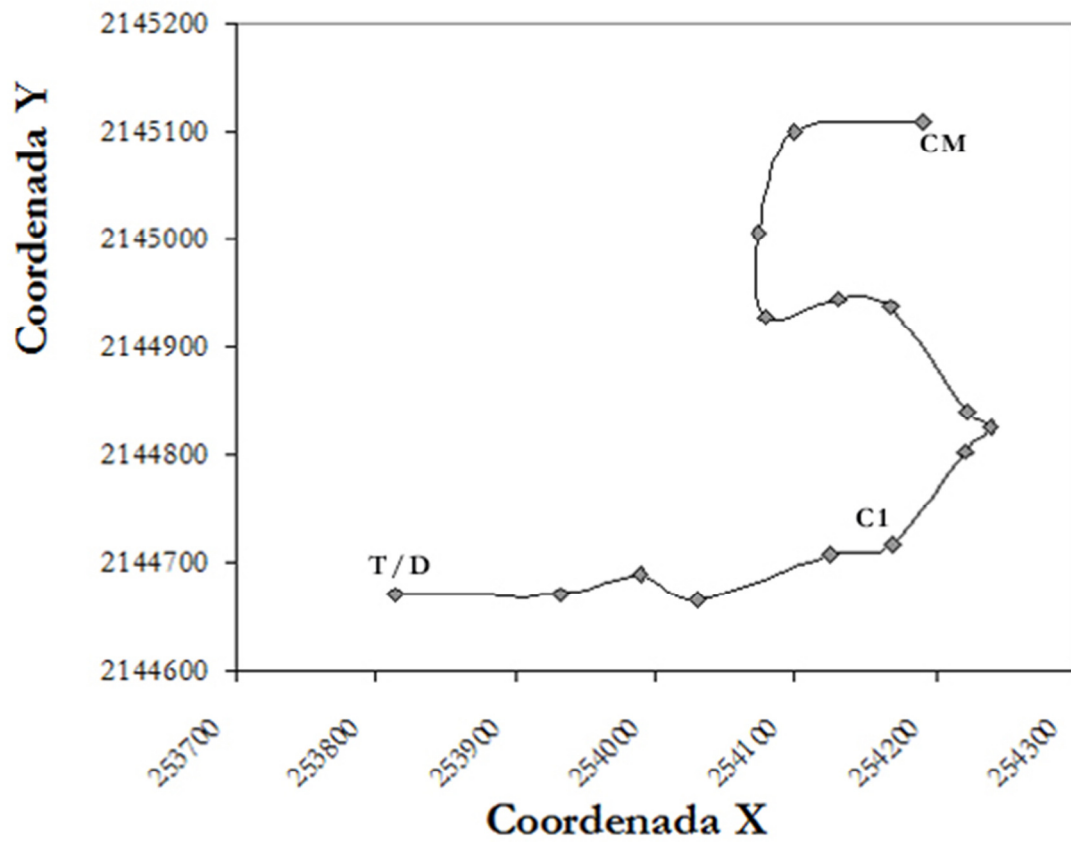
<b>Población</b>	Los Corozos
<b>Día de la Visita</b>	04/11/2016

<b>Punto</b>	<b>Coordenadas UTM WGS84</b>		<b>Altura (m)</b>	<b>Hora (hh:mm)</b>	<b>Notas</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>			
<b>T/D</b>	253815	2144669	439 448	10:38 AM 1:02 PM	Obra de toma (confluencia)
<b>P1</b>	253931	2144670	441	10:50 AM	Obra de toma
<b>P2</b>	253989	2144689	441	10:53 AM	Paso suspendido (tubos en columnas) ~13m
<b>P3</b>	254030	2144666	441	10:57 AM	
<b>P4</b>	254126	2144708	443	11:05 AM	
<b>C1</b>	254170	2144717	439	11:10 AM	Cañada de Paulina ~3 m
<b>P5</b>	254220	2144802	440	11:19 AM	Pastizal (otro lado cañada)
<b>P6</b>	254240	2144825	439	11:26 AM	Vertiente empinada (sin problemas)
<b>P7</b>	254223	2144839	440	11:29 AM	Vertiente muy empinada
<b>P8</b>	254167	2144938	441	11:37 AM	Firme (cambio de dirección tuberías)
<b>P9</b>	254130	2144945	441	11:44 AM	Pared casi vertical ~30m
<b>P10</b>	254079	2144927	442	11:51 AM	(extra 45grados)
<b>P11</b>	254074	2145004	434	12:02 PM	
<b>P12</b>	254100	2145099	433	12:15 PM	
<b>P13</b>	254191	2145110	426	12:21 PM	
<b>P14</b>	254189	2145130	419	12:23 PM	
<b>CM</b>	254237	2145120	418	12:29 PM	Casa de máquina

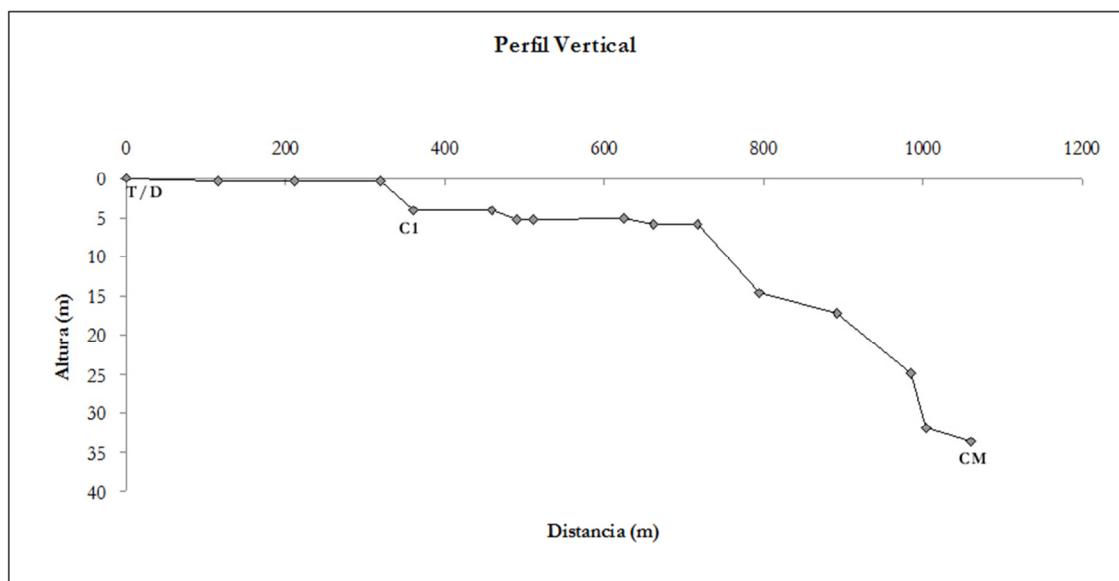
### Corrección de altitud

	Altura (m)	Distancia (m)	Diferencia de altura (m)	
<b>T/D</b>	452	0	0	T = Obra de Toma
<b>P1</b>	451	115	0	D = Desarenador
<b>P2</b>	451	211	0	P = Punto
<b>P3</b>	452	319	0	C = Cañada
<b>P4</b>	448	361	-4	CM = Casa de
<b>C1</b>	448	458	-4	Máquina
<b>P5</b>	446	490	-5	
<b>P6</b>	446	512	-5	
<b>P7</b>	447	625	-5	
<b>P8</b>	446	663	-6	
<b>P9</b>	446	717	-6	
<b>P10</b>	437	795	-15	
<b>P11</b>	435	893	-17	
<b>P12</b>	427	985	-25	
<b>P13</b>	420	1004	-32	
<b>CM</b>	418	1060	-34	

Sistema de conducción del agua - En planta. **VERTIENTE DERECHA**



Sistema de conducción del agua - Perfil Longitudinal. **VERTIENTE DERECHA**



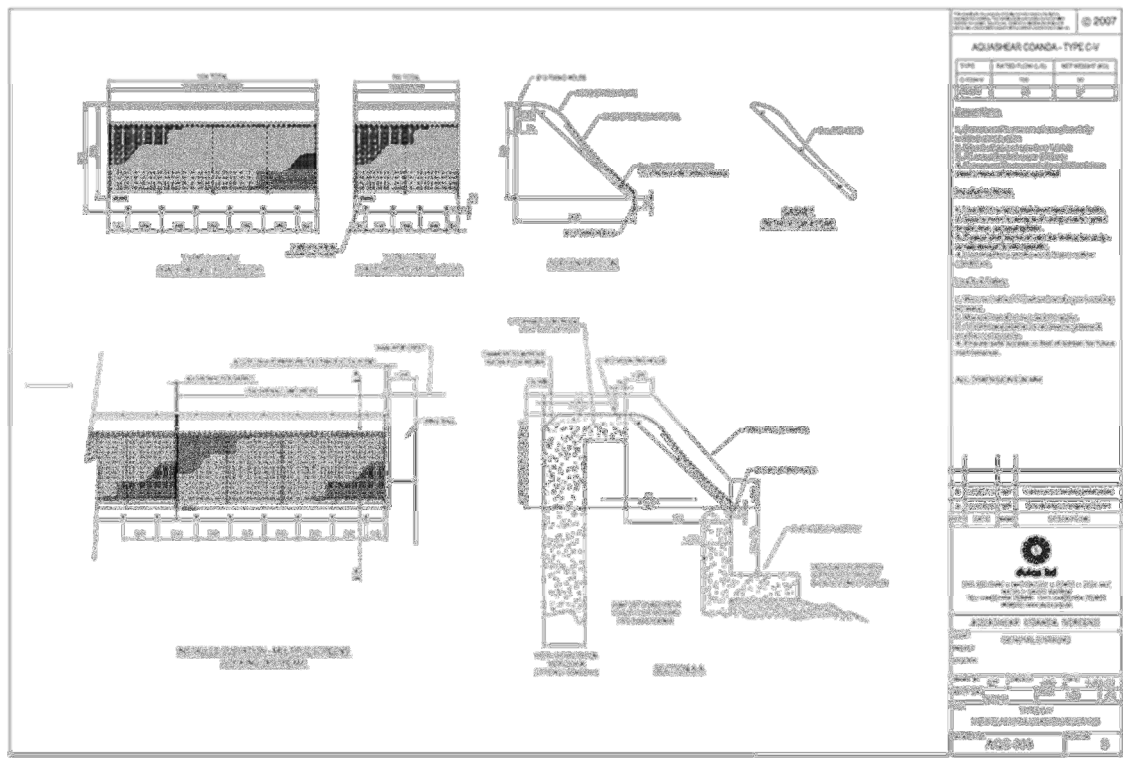
# **ANEJO VI**

## **Características del filtro Aquashear**



# CARACTERÍSTICAS DEL CATALOGO

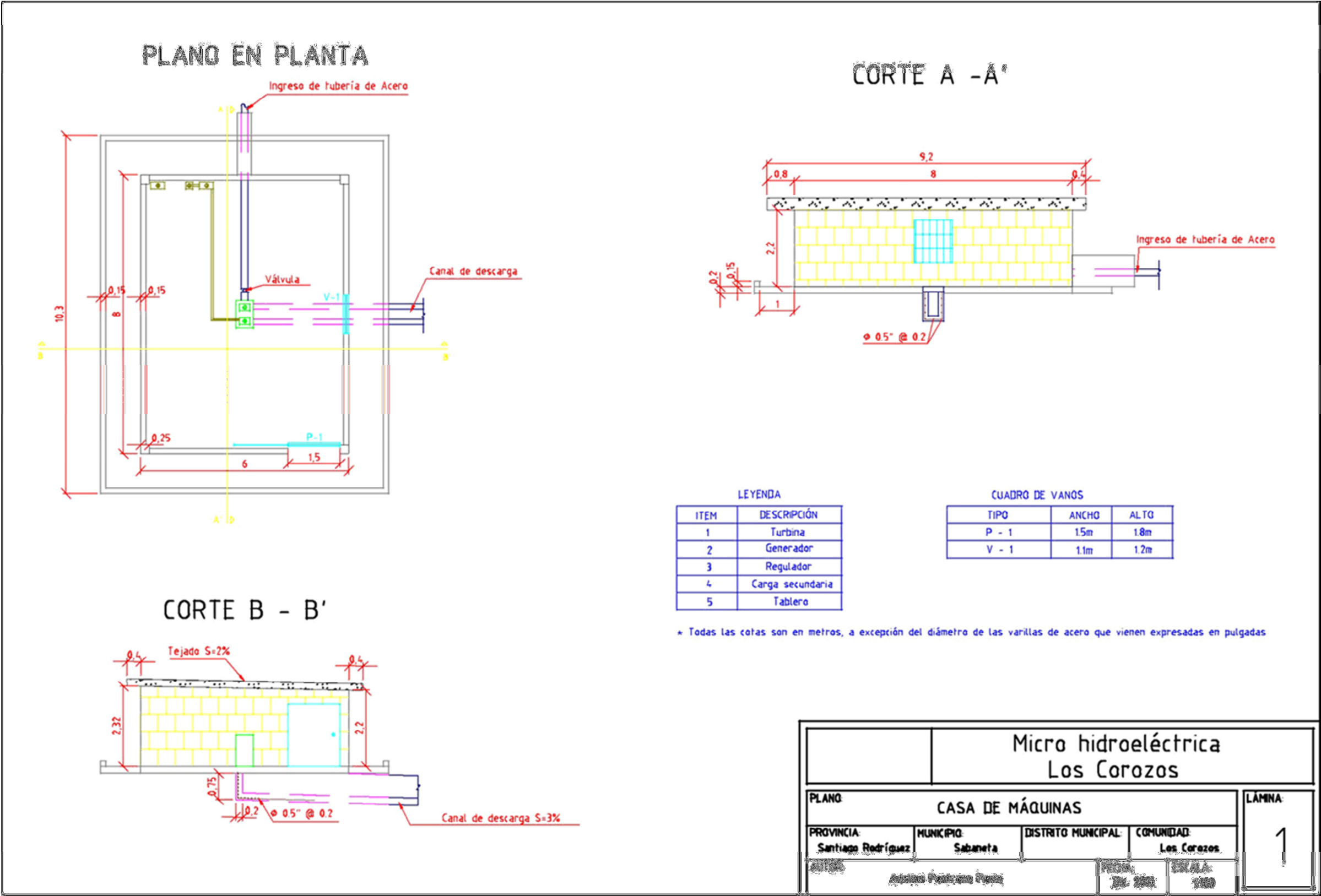
Este filtro se coloca a la salida del desarenador para evitar la entrada a la tubería de solidos de gran tamaño, de esta manera se evita dañar la turbina.



# **ANEJO VII**

## **Diseño de la Casa de Máquinas**

PLANOS DE LA CASA DE MÁQUINAS

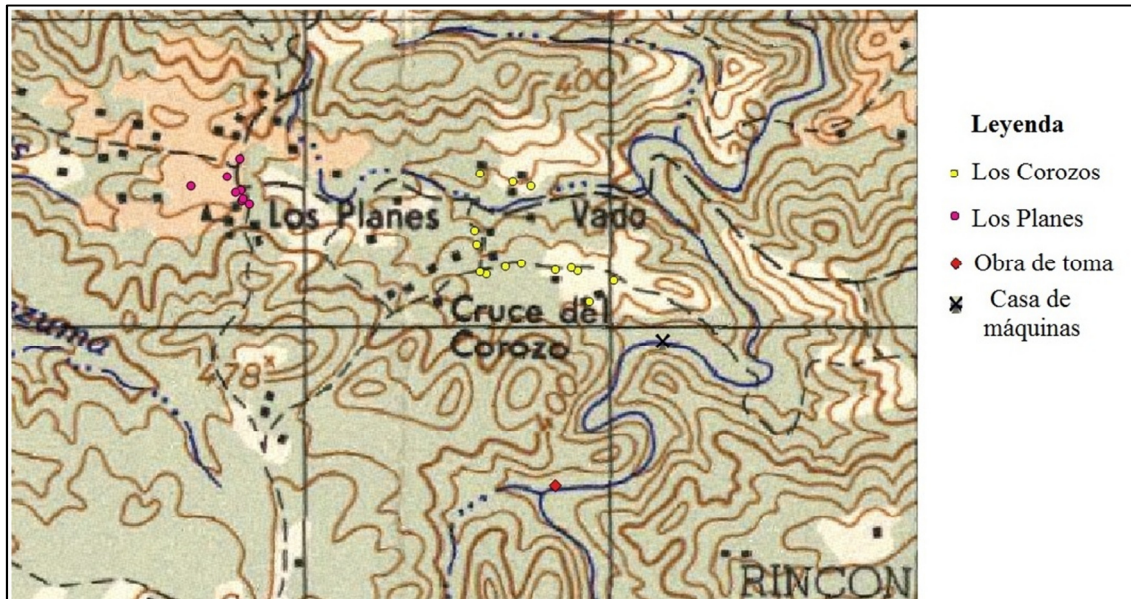


# **ANEJO VIII**

## **Levantamiento de viviendas**

## LEVANTAMIENTO DE VIVIENDAS

El levantamiento de viviendas se realizó mediante GPS y luego se ha trabajado con el QGIS para localizarlas en el mapa. En este mapa se pueden observar las viviendas de la Comunidad de Los Corozos y la de Los Planes, además de la ubicación de la obra de toma y la casa de máquinas. Se han posicionado las viviendas de Los Planes pensando que como existe potencia de sobra en el sistema micro hidroeléctrico, en un futuro estos vecinos quieran conectarse a la red eléctrica del sistema.



# **ANEJO IX**

## **Características del generador**

# CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR

ECP32 4 B



## General characteristics

Pole number	4	Insulation class	H
Phase number	3	Protection class	IP23
Number of wires	12	NDE Bearing type	6309-2RS
Execution	Brushless	DE Bearing type	6312-2RS
Regulator type	DSR	Maximum Overspeed	2250
Winding pitch	2/3	Altitude	0-1000
Code voltage reference	T040553	Balancing	ISO1940-1

## Ratings 60Hz

kVA / kW @ Temp. Rise / Ambient °C - 0.8 PF																					
STANDBY-163/27					STANDBY-150/40				H-125/40				F-105/40				B-80/40				
Series	Star Y	415V	440V	460V	480V	415V	440V	460V	480V	415V	440V	460V	480V	415V	440V	460V	480V	415V	440V	460V	480V
Parallel	Star YY	208V	220V	230V	240V	208V	220V	230V	240V	208V	220V	230V	240V	208V	220V	230V	240V	208V	220V	230V	240V
Series	Delta Δ	240V	254V	265V	277V	240V	254V	265V	277V	240V	254V	265V	277V	240V	254V	265V	277V	240V	254V	265V	277V
Parallel	Delta ΔΔ	120V	127V	133V	138V	120V	127V	133V	138V	120V	127V	133V	138V	120V	127V	133V	138V	120V	127V	133V	138V
ECP32 254 B	kVA	41	45	47	47	39	42	44	44	37	40	42	42	35	38	40	40	29,6	32	34	34
	kW	32,8	36	37,6	37,6	31,2	33,6	35,2	35,2	29,6	32	33,6	33,6	28	30	32	32	23,7	25,6	27,2	27,2
ECP32 354 B	kVA	50	54	57	57	48	51	54	54	45	48	51	51	41	46	49	49	36	38	41	41
	kW	40	43	45,6	45,6	38	41	43,2	43,2	36	38	40,8	40,8	32,8	36,8	39,2	39,2	28,8	30,4	32,8	32,8
ECP32 1M4 B	kVA	62	67	67	67	58	63	63	63	55	60	60	60	53	58	58	58	44	48	48	48
	kW	49,6	53,6	53,6	53,6	46,4	50,4	50,4	50,4	44	48	48	48	42,4	46,4	46,4	46,4	35,2	38,4	38,4	38,4
ECP32 2M4 B	kVA	76	80	83	83	72	75	78	78	70	73	75,5	75,5	64	70	72	72	56	58	60	60
	kW	61	64	66,4	66,4	58	60	62,4	62,4	56	58	60,4	60,4	51	56	57,6	57,6	45	46	48,3	48
ECP32 3L4 B	kVA	87	91	97	100	81	86	91	93,7	78	82	87	90	73	80	83	83	62	66	70	72
ECP32 4L4 B	kVA	69,6	73	77,6	80	64,8	69	72,8	75	62,4	66	69,6	72	58,4	64	66,4	66,4	49,6	52,8	56	57,6
	kW	92	100	104	104	87	94	98	98	85	92	96	96	78	85	88	88	68	74	77	77
	kW	74	80	83	83	70	75	78	78	68	73,6	76,8	76,8	62,4	68	70,4	70,4	54,4	59,2	61,6	61,6