



**Escuela Técnica
Superior de Ingeniería
de Caminos, Canales y
Puertos**



**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

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

ANEJOS

ANEJO I
Ficha de
Síntesis del
Sistema

DATOS DEL MUNICIPIO

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

RECURSOS NATURALES

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

DATOS TÉCNICOS DEL SISTEMA

Potencia de generación	40 kW
Número de viviendas beneficiadas	14
Tipo de turbina	Banki (Flujo cruzado)
Generador	Sincrono monofásico, 110/220 V, 60 Hz, 1.800 rpm
Tubería 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)
Red de distribución eléctrica 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
	TOTAL	9.488.680	189.773'6

1. Personal.

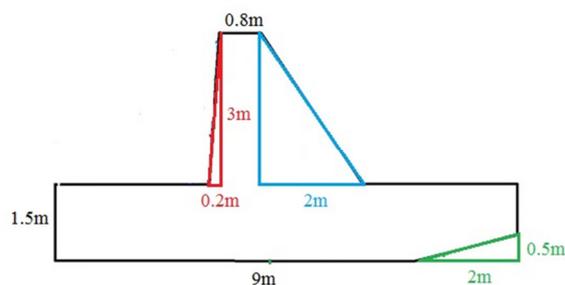
Para el cálculo del personal se hace una estimación muy sencilla:

- ✓ (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 m^3 de hormigón se usan $0'3 \text{ m}^3$ de cemento, y tomando la densidad del cemento $1500\text{kg}/\text{m}^3$, 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 x 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*22.690) + (52*22.690) + (5* 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

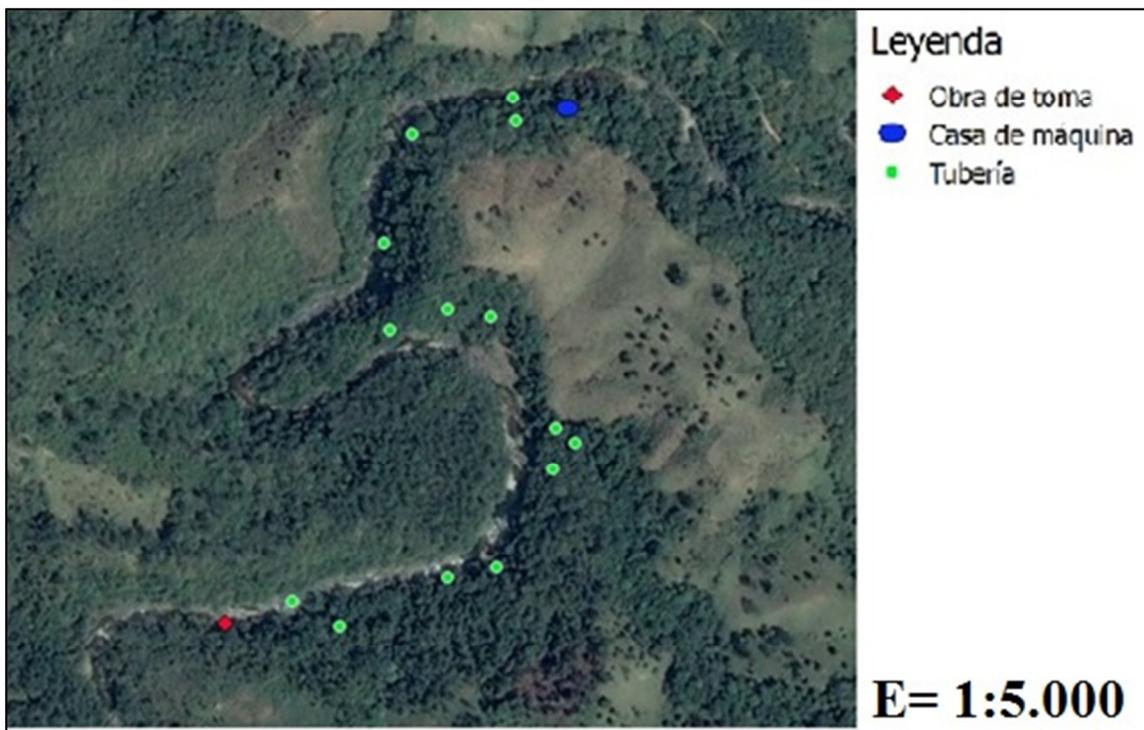
los

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.

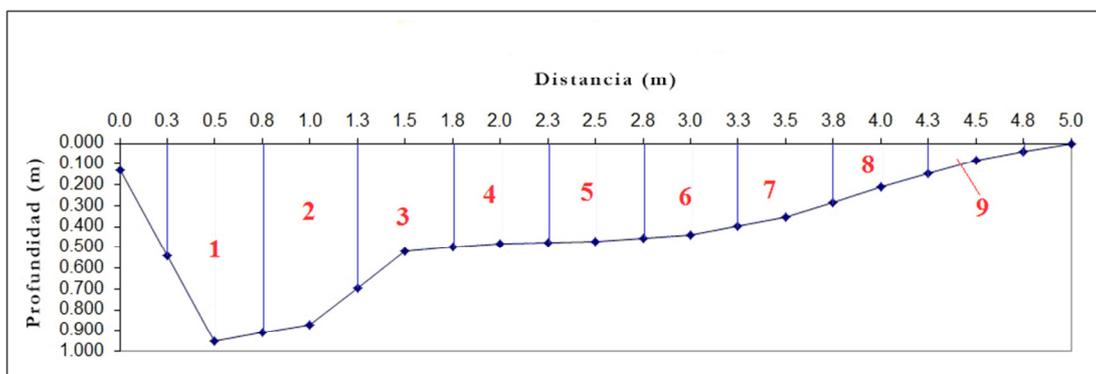
En segundo lugar, para la estimación de la velocidad media de la corriente, se usa el caudalímetro, despreciándose los valores en los extremos del río, cuya velocidad del agua es muy próxima a 0. Se toman velocidades del flujo en la superficie, a una profundidad media y en el fondo de cada uno de los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

Población	Los Corozos
Día de la Visita	20/10/2016

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

Corrección de altitud

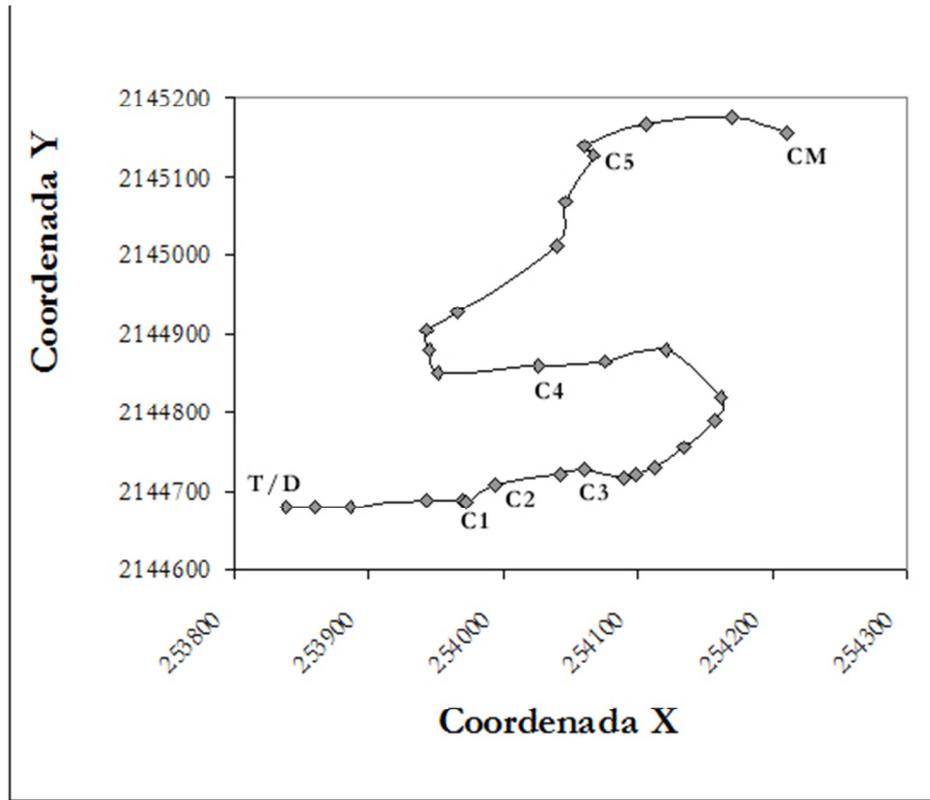
	Altura (m)	Distancia (m)	Diferencia de altura (m)	
T/D	484	0	0	T = Obra de Toma
P1	482	25	-2	D = Desarenador
P2	483	80	-2	P = Punto
P3	482	104	-2	C = Cañada
C1	483	107	-2	CM = Casa de
C2	491	137	-2	Máquina
P4	486	188	-2	
C3	484	207	-2	
P5	476	237	-8	
P6	476	246	-8	
P7	479	262	-8	
P8	483	297	-8	
P9	478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

Nota:

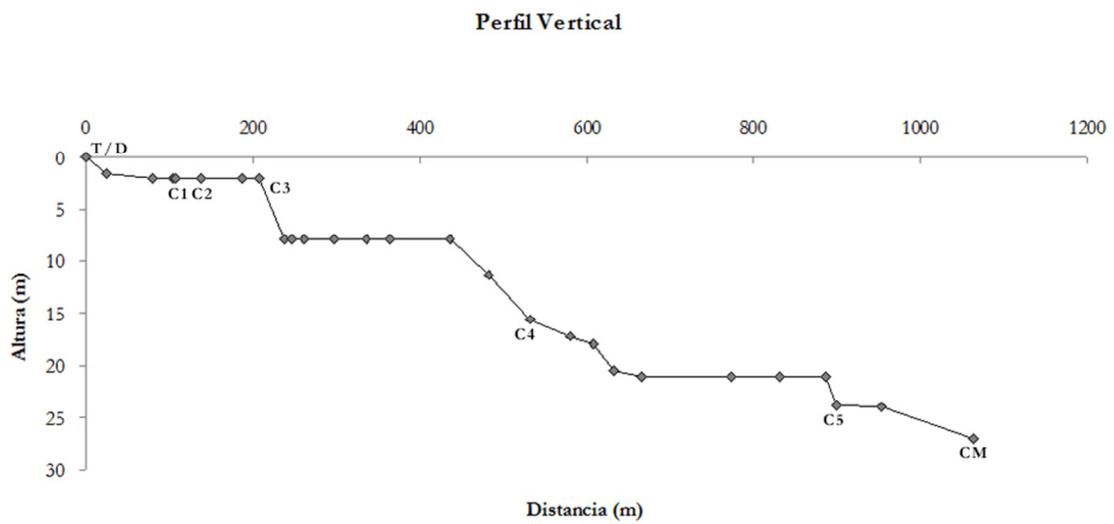
Como se puede observar, en la primera tabla se indican las cotas que se iban tomando en la visita de campo y la hora a la que fueron tomadas. De esta manera, se puede comprobar que el perfil de la tubería iba descendiendo.

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

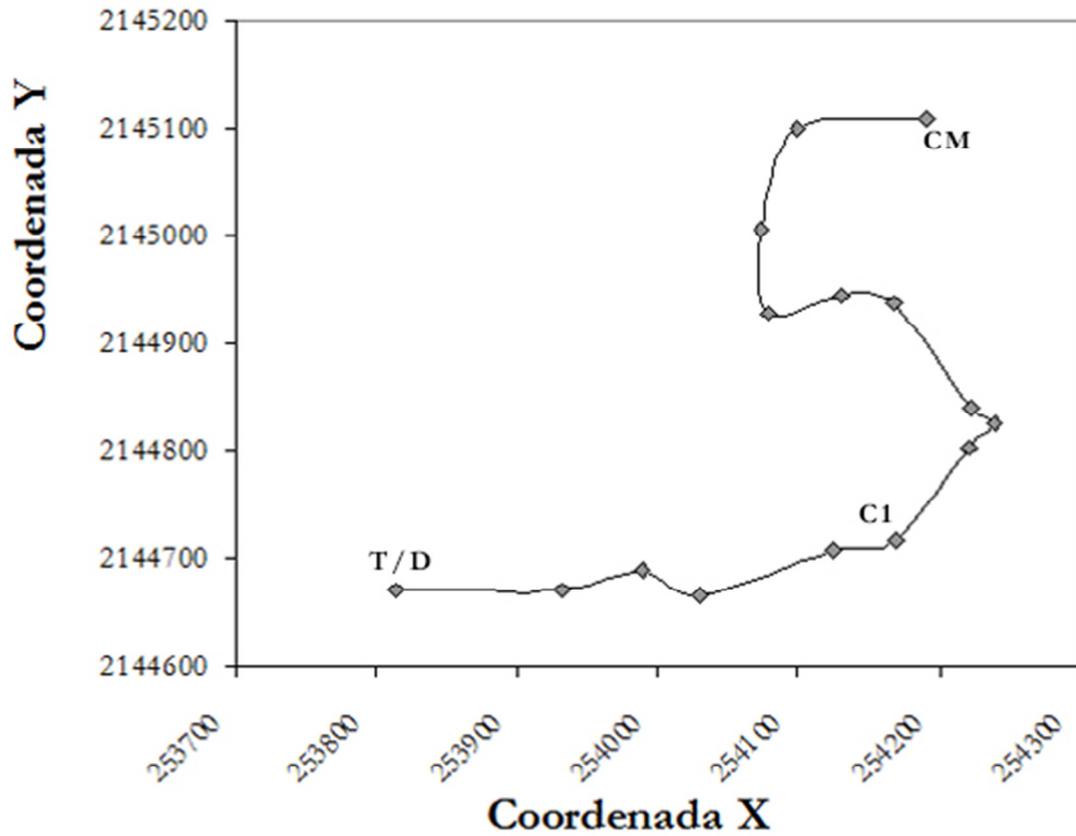
Población	Los Corozos
Día de la Visita	04/11/2016

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

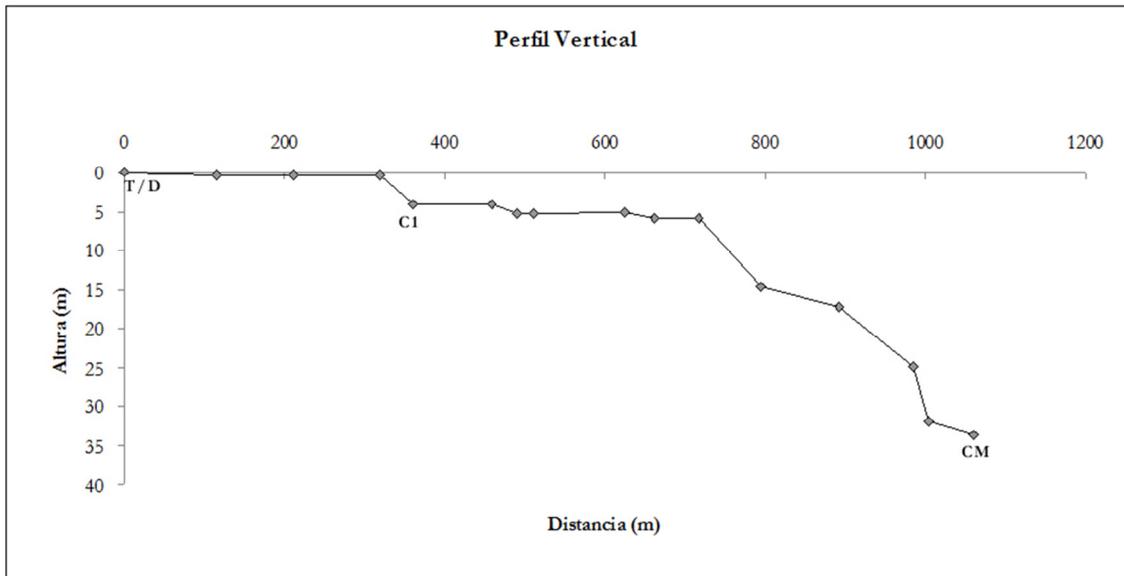
Corrección de altitud

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

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



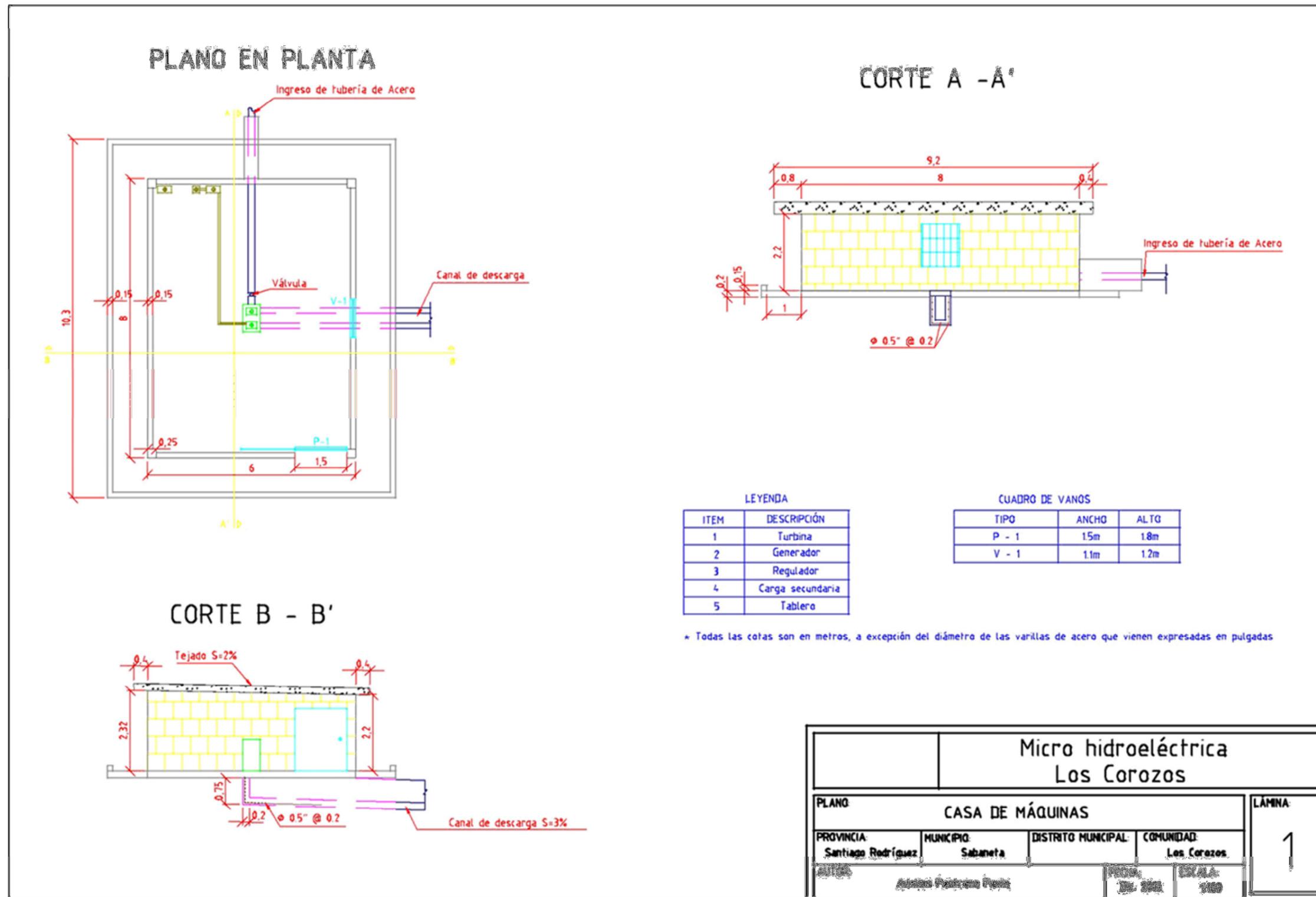
Sistema de conducción del agua - Perfil Longitudinal. **VERTIENTE DERECHA**



ANEJO VI
Características
del filtro
Aquashear

ANEJO VII
Diseño de la
Casa de
Máquinas

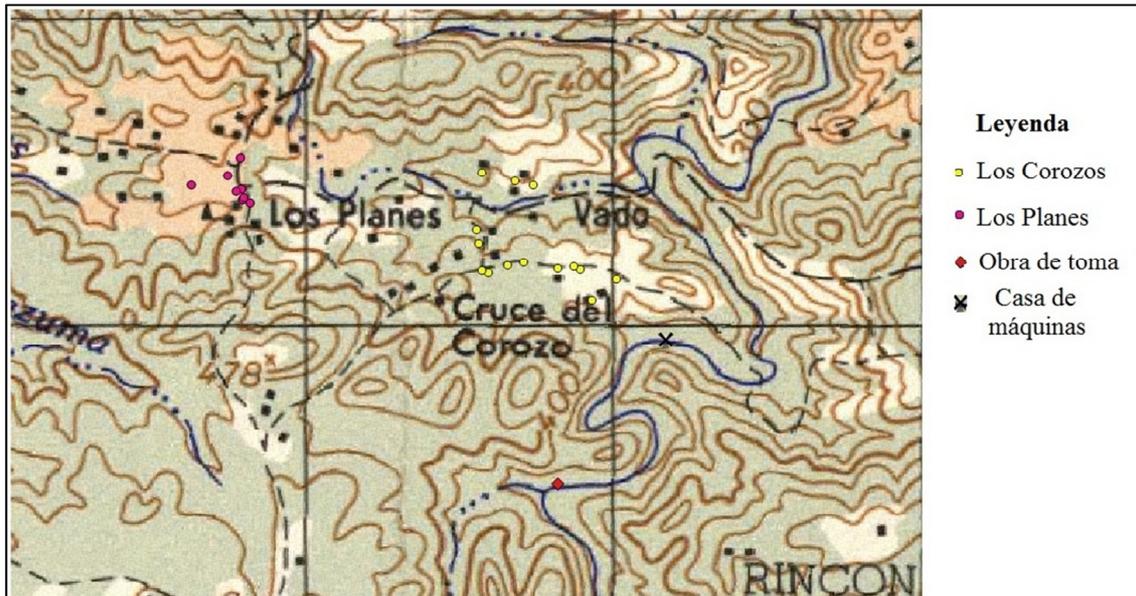
PLANOS DE LA CASA DE MÁQUINAS



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 2S4 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 3S4 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
	kW	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
ECP32 4L4 B	kVA	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