

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 5
KW PARA LA FINCA MIRASOL EN LA VEREDA SACRAMENTO,
CORREGIMIENTO DE FUNDACIÓN MAGDALENA**

**JULIO CESAR MIRANDA FRIAS
EZEQUIEL VILLEGAS CONTRERAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 5
KW PARA LA FINCA MIRASOL EN LA VEREDA SACRAMENTO,
CORREGIMIENTO DE FUNDACIÓN MAGDALENA**

**JULIO CESAR MIRANDA FRIAS
EZEQUIEL VILLEGAS CONTRERAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
NÉSTOR RAÚL D'CROZ T.
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios
por su ardua compañía e inagotable Amor,
A Jorge Miranda y Danieyi Frias, mis padres
por su colaboración y esfuerzo
Por permitirme cumplir esta meta en mi vida,
A mi hermana y mi novia
Por su gran comprensión y apoyo constante,
A mi familia y Amigos
Por el apoyo y la confianza puesta en mí,
A todos Gracias.

Julio Miranda

DEDICATORIA

A Dios

Por su infinito amor, por ser la fuerza que me impulsa para cumplir mis objetivos, porque estás conmigo en cada paso que doy y por permitirme llegar hasta este momento de mi vida

A Mis Padres

Alfonso Villegas; Por ser el mejor padre del mundo, por tu ejemplo, por tu esfuerzo en ayudarme a alcanzar mis metas.

Rosa María Contreras, por su incomparable amor, por ser la motivación de mi vida.

A Mis Hermanos: *Marta, Kelly, Fabián, Ponchito, Danitza, Roque, Juanes y Sebas. Por su confianza, compañía y apoyo para que esta etapa pueda ser culminada.*

A Familiares y Amigos

Por el apoyo brindado siempre y la confianza que colocan en mi

A todos los que me han apoyado en mi proceso de formación.

Ezequiel Villegas Contreras

AGRADECIMIENTOS

A Ing. Néstor Raúl D'croz, director del proyecto, por su orientación, colaboración y sus aportes en la realización de este trabajo de grado.

A Alfonso Villegas Uribe, Propietario de la Finca Mirasol por su apoyo incondicional, confianza y total disposición en la ejecución de este proyecto

A los trabajadores de la finca Mirasol por su compromiso, esfuerzo y disposición, en especial a Fabián Villegas por su entrega en este proyecto.

A nuestro compañero Carlos Alvares Pinilla y a IMR por su disponibilidad y apoyo para realización de los procesos de mecanizado realizados en este proyecto.

A la señora Digna Asis y a Roberto Carlos Asis por el apoyo brindado durante toda la vida universitaria.

A nuestros compañeros y profesores con los cuales compartimos experiencias, enseñanzas y buenos recuerdos.

JULIO CESAR MIRANDA FRIAS

EZEQUIEL VILLEGAS CONTRERAS

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	31
1. JUSTIFICACIÓN.....	33
2. OBJETIVOS.....	34
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	34
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
3. MARCO TEÓRICO	36
3.1 ZONAS RURALES Y SU PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA.....	36
3.2 FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS	36
3.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	39
3.3.1 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas	40
3.3.1.1 Según el tipo de embalse.....	40
3.3.1.2 Según la altura neta del salto.....	43
3.3.1.3 Según la potencia Instalada.....	43
3.3.1.4 Según el sistema de explotación.....	44
3.3.1.5 Según la demanda que satisfacen	44
3.4 PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA	45
3.4.1 Elementos de una picocentral Hidroeléctrica	46
3.4.2 Obras civiles	46
3.4.2.1 Obras de Captación	47
3.4.2.2 Tubería de presión.....	50
3.4.3 Equipo Electromecánico	53

3.4.3.1 Turbinas Hidráulicas	53
3.4.3.2 Clasificación de las turbinas Hidráulicas	54
3.4.3.3 Selección del tipo de turbina	59
3.4.3.4 Generadores Eléctricos.....	61
3.4.3.5 Control de generación en picocentrales hidroeléctricas	62
3.4.4 Sistema de transmisión mecánica de una picocentral hidroeléctrica.....	65
3.4.4.1 Elementos.....	65
3.4.4.2 Tipos de transmisión.....	65
3.4.5 Redes de transmisión de potencia eléctrica.....	68
3.5 EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENERGETICO	72
3.5.1 Medición del salto o altura Bruta	73
3.5.1.1 Método de la Manguera de Nivelación	73
3.5.1.2 Método del nivel carpintero y tablas	74
3.5.1.3 Método de la manguera y manómetro.....	75
3.5.1.4 Método del alfiler y GPS.	76
3.5.2 Medición del Caudal	77
3.5.2.1 Método del recipiente.....	78
3.5.2.2 Método del área y la velocidad.....	79
3.5.2.3 Método del Vertedero	80
3.6 TURBINA TIPO PELTON	82
3.6.1 Partes de Una turbina Pelton	82
3.6.1.1 El Rodete	83
3.6.1.2 La Cuchara	84
3.6.1.3 La Carcasa	85

3.6.1.4 El Inyector.....	86
3.6.2 Funcionamiento de Una turbina pelton.....	88
4. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO	90
4.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....	90
4.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO	91
4.3 REQUERIMIENTO ENERGÉTICO	92
4.3.1 Estimación del salto y el caudal necesarios	95
4.4 EVALUACIÓN DE LA FUENTE HIDRÁULICA EN LA FINCA MIRASOL	96
4.4.1 Medición del Caudal	96
4.4.2 Medición de la altura bruta.....	97
4.5 TIPO DE OBRA DE CAPTACIÓN A REALIZAR	100
4.5.1 Componentes de una Bocatoma de fondo	100
4.5.1.1 Presa	100
4.5.1.2 Solados o Enrocado superior e inferior	101
4.5.1.3 Muros laterales	101
4.5.1.4 Rejilla.....	101
4.5.1.5 Canal de aducción	101
4.5.1.6 Cámara de Recolección.....	101
4.5.2 Componentes de un desarenador.....	102
4.5.2.1 Cámara de aquietamiento.....	102
4.5.2.2 Entrada al desarenador.....	102
4.5.2.3 Zona de sedimentación.....	102
4.5.2.4 Salida del Desarenador.....	102
4.5.2.5 Almacenamiento de lodos.....	103

4.6 CONDICIONES PRELIMINARES PARA LA TUBERÍA DE PRESIÓN	103
4.6.1 Selección del diámetro interno de la tubería de presión	104
4.6.2 Estimación del rating de la tubería de presión.....	105
4.7 DEFINICIÓN DE PROCESOS DE FABRICACIÓN	107
4.7.1 Fundición	108
4.7.2 Maquinado	109
4.8 TRÁMITES LEGALES DEL PROYECTO.....	110
4.8.1 Normatividad Ambiental	110
4.8.2 Dominio de las aguas	110
4.7.3 Modos de adquirir derecho al uso de las aguas	111
4.8.3.1 Por ministerio de la ley.....	111
4.8.3.2 Concesiones	111
5. DISEÑO DE LA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	114
5.1 DISEÑO OBRAS DE CAPTACIÓN	114
5.1.1 Diseño de bocatoma de fondo	114
5.1.1.1 Diseño de presa.....	114
5.1.1.2 Diseño de la rejilla y el canal de aducción.....	120
5.1.1.3 Canal de aducción	124
5.1.1.4 Diseño de cámara de recolección	128
5.2 DISEÑO DEL DESARENADOR.....	129
5.3 DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	133
5.3.1 Diseño Hidráulico de la tubería de presión.....	133
5.3.1.1 Perdidas en la tubería	133
5.3.1.2 Altura Neta	145

5.3.2 Diseño Mecánico de la tubería de presión	146
5.4 DISEÑO DE LA TURBINA PELTON	150
5.4.1 Diseño Hidráulico de la Turbina Pelton.	150
5.4.1.1 Cálculo de la velocidad específica N_s	150
5.4.1.2 Triangulo de velocidades a la entrada.....	159
5.4.1.3 Triangulo de velocidades a la salida	160
5.4.1.4 Calculo de las RPM de la Turbina	162
5.4.1.5 Rendimiento Hidráulico	163
5.4.1.6 Forma de la cuchara	163
5.4.1.7 Determinación del número de cucharas.....	166
5.4.1.8 Orientación de las cucharas.....	175
5.4.2 Diseño Mecánico de la Turbina Pelton.....	177
5.4.2.1 Diseño del Rodete	177
5.4.2.2 Diseño del inyector	190
5.4.2.3 Diseño del Eje de la turbina	195
5.4.2.4 Diseño de la Carcasa.....	209
5.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	212
5.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICA.....	217
5.6.1 Selección del tipo de correa	217
5.6.1.1 Potencia corregida	217
5.6.1.2 Factor de carga.....	217
5.6.1.3 Relación de transmisión.....	218
5.6.1.4 Prestación base por correas	218
5.6.1.5 Eficiencia de la transmisión mecánica por correas trapezoidales.....	221

5.7 SELECCIÓN DEL GENERADOR	222
5.8 DISEÑO DEL BASTIDOR DEL CONJUNTO TURBINA GENERADOR	224
5.9 SISTEMA DE REGULACIÓN POR CARGA	229
5.9.1 Funcionamiento del sistema de regulación por carga	229
5.9.2 Banco de resistencias	231
5.10 DISEÑO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO Y APAGADO DESDE EL LUGAR DE CONSUMO	232
5.10.1 Elementos del sistema de encendido y apagado	233
5.10.1.1 Válvula de compuerta	233
5.10.1.2 Moto-reductor	233
5.10.1.3 Acoples tipo cruceta	235
5.10.1.4 Bastidor	235
5.10.1.5 Micro-controlador	236
5.10.1.6 Sensor óptico reflectivo	236
5.10.2 Conexiones	237
5.10.3 Programación	238
5.11 DISEÑO DE LA CASA MAQUINA.....	239
5.12 DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN.....	241
5.12.1 Diseño eléctrico de la red de transmisión.....	241
5.12.2 Diseño Mecánico de la red de transmisión.....	244
5.13 CALCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA A GENERAR.....	252
6. CONSTRUCCIÓN.....	253
6.1 FABRICACION DE MODELOS.....	253
6.2 FUNDICIÓN DEL RODETE	258

6.3 FUNDICIÓN DE LA CARCASA	259
6.4 FUNDICIÓN DEL INYECTOR.....	260
6.5 MECANIZADO DE PIEZAS	261
6.6 CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA BASE Y ENSAMBLE DE COMPONENTES.....	263
6.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DE APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA	265
6.8 CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CAPTACIÓN.....	267
6.9 INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....	270
6.10 CONSTRUCCIÓN DE CASA MÁQUINA.....	272
6.11 CONSTRUCCIÓN DE POSTES E INSTALACIÓN DE REDES	276
6.12 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE RESISTENCIAS	280
7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	282
7.1 CURVAS DE DESEMPEÑO DE LA TURBINA.....	282
7.2 PRUEBA DE PRESIÓN DE OPERACIÓN.....	284
7.3 PRUEBAS DE POTENCIA PRODUCIDA	284
7.4 VERIFICACIÓN DE EFICIENCIAS DE LA PLANTA	287
7.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CONTROLADOR POR CARGA.....	288
7.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTOS OBRAS DE CAPTACIÓN	290
8. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN	294
8.1 MANUAL DE OPERACIÓN.....	294
8.1.1 Paso a paso en el arranque y parada de la planta	294
8.1.1.1 Arranque de la planta.....	295
8.1.1.2 Parada de la planta.....	297
8.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	298

8.2.1 Registro de mantenimientos.	298
8.3 MANTENIMIENTO DE LA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA	301
8.3.1 Mantenimiento de las obras de captación	301
8.3.2 Mantenimiento de la tubería de presión	302
8.3.3 Mantenimiento de la turbina.	303
8.3.4 Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia mecánica.	303
8.3.5 Mantenimiento del Generador y líneas de transmisión.....	304
8.3.6 Herramientas para mantenimiento y Stock de Repuestos	304
8.4 CAPACITACIÓN DE OPERADORES	306
9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	308
9.1 INVERSIONES	308
9.1.1 INVERSIÓN FIJA.....	308
9.1.1.2 Costos de adquisición de materiales.....	308
9.1.1.3 Materiales para Red de transmisión.....	310
9.1.1.4 Costos de equipos	311
9.1.1.5 Costos de Transporte	313
9.1.1.6 Costos por mano de obra.....	313
9.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	314
9.2 BENEFICIOS	314
9.2.1 Determinación del costo de la energía	315
9.2.2 Depreciación del proyecto.....	315
9.3 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.....	317
9.4 VALOR PRESENTE NETO.....	319
9.5 RELACIÓN BENEFICIO-COSTO.....	321

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.322
BIBLIOGRAFIA.....325
ANEXOS328

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de las centrales hidroeléctricas por potencia Europa	44
Tabla 2.	Clasificación de las centrales por potencia Centroamérica	44
Tabla 3.	Modos de alimentación de la Fuente de Excitación	61
Tabla 4.	Consumo cuando no hay cosecha de café.	93
Tabla 5.	Consumo Energético Finca Mirasol en Cosecha	94
Tabla 6.	Medición de la altura Bruta	98
Tabla 7.	Valores de alturas medidas con el GPS	99
Tabla 8.	Comparación tuberías PVC y PEHD.....	103
Tabla 9.	Comparación de costos tubería PVC y PEHD	104
Tabla 10.	Esfuerzo Hidrostático de Diseño	106
Tabla 11.	Factor Ambiental	106
Tabla 12.	Coordenadas del perfil de Creager.....	118
Tabla 13.	Clasificación de los materiales en suspensión.....	129
Tabla 14.	Valores de Rugosidad relativa.....	135
Tabla 15.	Pérdida de Presión Tuberías Unión Platino RDE 13.5.....	143
Tabla 16.	Eficiencias típicas en pequeñas turbinas Pelton.....	155
Tabla 17.	coeficientes de procesos de manufacturas.....	179
Tabla 18.	Factores de confiabilidad por probabilidad de sobrevivencia	180
Tabla 19.	Materiales para eje de turbina	202
Tabla 20.	Coeficientes para factor de acabado de superficie	205
Tabla 21.	Características de rodamientos	213
Tabla 22.	Factor de confiabilidad a_1	214
Tabla 23.	Rendimientos característicos para transmisiones mecánicas.....	222
Tabla 24.	Comparación Tipos de Generadores.....	222
Tabla 25.	Generadores síncrono de 2 polos sin escobillas	224
Tabla 26.	Válvula de compuerta RED WHITE class 150 #	233
Tabla 27.	Caída de tensión en la red	242

Tabla 28.	Prueba de Generación	287
Tabla 29.	Valores medidos bajo condición de cargas	290
Tabla 30.	Condiciones de cargas en los circuitos.....	290
Tabla 31.	Diagnóstico de fallas en obras civiles	299
Tabla 32.	Diagnóstico de fallas en la Turbina.....	299
Tabla 33.	Diagnóstico de fallas en el Generador.....	300
Tabla 34.	Diagnóstico de fallas en el Tablero de control.	300
Tabla 35.	Herramientas y Stock de Repuestos	305
Tabla 36.	Costos de materiales en Obras de Captación	309
Tabla 37.	Costos de materiales tubería de presión	309
Tabla 38.	Costos de materiales en Casa Maquina.	309
Tabla 39.	Costos de materiales Postes.....	310
Tabla 40.	Costos de materiales red de transmisión.....	310
Tabla 41.	Resumen de costos de materiales	311
Tabla 42.	Costos del conjunto Turbina-Generador.....	311
Tabla 43.	Costos del control por carga.....	312
Tabla 44.	Costos del sistema de encendido y apagado electrónico	312
Tabla 45.	Resumen de costos de equipos	312
Tabla 46.	Costos de transporte de material y equipos	313
Tabla 47.	Costos por mano de obra	313
Tabla 48.	Resumen de Inversión	314
Tabla 49.	Costos de operación y Mantenimiento.....	314
Tabla 50.	Flujo de caja.....	317
Tabla 51.	VPN Costos y Beneficios.....	320

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Cultivo de Café en la Finca Mirasol.....	32
Figura 2.	Esquema de una central hidroeléctrica.....	40
Figura 3.	Esquema de una central de caudal fluyente.....	41
Figura 4.	Esquema de una central con represamiento de agua.....	41
Figura 5.	Esquema de una central por Bombeo.....	42
Figura 6.	Esquema de una central Mareomotriz.....	43
Figura 7.	Esquema de una Picocentral Hidroeléctrica.....	46
Figura 8.	Bocatomas laterales.....	48
Figura 9.	Bocatoma de fondo.....	48
Figura 10.	Bocatoma lateral por gravedad.....	49
Figura 11.	Casa Maquinas Microcentral en Trawas distrito de Mojokerto.....	53
Figura 12.	Esquema Turbina Tipo Pelton.....	55
Figura 13.	Esquema Turbina Michell-Banki.....	56
Figura 14.	Esquema Turbina Francis.....	57
Figura 15.	Esquema Turbina Kaplan.....	58
Figura 16.	Selección del tipo de turbina por Potencia.....	60
Figura 17.	Esquema básico regulación por carga.....	63
Figura 18.	Esquema Regulador de frecuencia por variación de caudal.....	64
Figura 19.	Bandas Trapezoidales.....	66
Figura 20.	Transmisión de cadenas múltiples.....	67
Figura 21.	Ruedas de fricción de ejes paralelos.....	67
Figura 22.	Transmisión por engranajes rectos.....	68
Figura 23.	Poste de Madera.....	70
Figura 24.	Postes de hormigón armado.....	70
Figura 25.	Cable de aluminio desnudo ACSR.....	71
Figura 26.	Puesta a tierra.....	72
Figura 27.	Altura Bruta.....	73

Figura 28.	Método de la manguera de nivelación	74
Figura 29.	Medición de la altura bruta por el método del nivel Carpintero	75
Figura 30.	Método de la manguera y manómetro	75
Figura 31.	Calibración del instrumento	76
Figura 32.	Reloj Casio con Altímetro	77
Figura 33.	Medición del caudal método del recipiente	78
Figura 34.	Medición de la sección del cauce	79
Figura 35.	Determinación tramo del rio para medir su velocidad por flotador	80
Figura 36.	Esquema de una turbina pelton.....	82
Figura 37.	Partes de una turbina Pelton	83
Figura 38.	Rodete Pelton	84
Figura 39.	Principales dimensiones de una cuchara pelton.....	84
Figura 40.	Carcasa de una turbina pelton	86
Figura 41.	Detalles de una tobera de una turbina pelton	86
Figura 42.	Función del deflector	88
Figura 43.	Funcionamiento de la turbina pelton.....	89
Figura 44.	Esquema General de La Picocentral Hidroeléctrica Finca Mirasol.....	90
Figura 45.	Ubicación de la finca Mirasol.....	92
Figura 46.	Comportamiento de la fuente	97
Figura 47.	Medición del salto finca Mirasol.....	98
Figura 48.	GPS (Garmin Etrex) Utilizado.....	99
Figura 49.	Elementos de la Bocatoma de fondo	100
Figura 50.	Partes del desarenador	102
Figura 51.	Fundición en arena.....	108
Figura 52.	Mecanizado de piezas.....	109
Figura 53.	Proceso para adquirir derechos sobre el agua	113
Figura 54.	Bocatoma de fondo (direcciones del flujo)	114
Figura 55.	Vertedero de cresta ancha	115
Figura 56.	Perfil de bocatoma de fondo.....	117
Figura 57.	Perfil de Creage	118

Figura 58.	Resalto o colchón amortiguador	120
Figura 59.	Análisis grafico del agua a través de la rejilla	122
Figura 60.	Coeficiente de pérdidas para rejillas.....	123
Figura 61.	Dimensiones de la rejilla.....	124
Figura 62.	Canal de aducción.....	125
Figura 63.	Niveles del canal de aducción	126
Figura 64.	Corte transversal canal de aducción	127
Figura 65.	Cámara de recolección	128
Figura 66.	Esquema básico del desarenador	129
Figura 67.	Numero de Hazen	131
Figura 68.	Dimensiones del desarenador	132
Figura 69.	Esquema del Trazo de la tubería.....	133
Figura 70.	Propiedades del agua a 25°C.....	136
Figura 71.	Diagrama de Moody.	140
Figura 72.	Coeficiente de pérdidas a la Entrada.....	142
Figura 73.	Tipo de unión Utilizada	142
Figura 74.	Coeficiente de pérdidas en Válvula de compuerta.....	144
Figura 75.	Geometría del inyector	151
Figura 76.	Coeficiente de contracción para la boquilla	152
Figura 77.	Rango óptimo para el coeficiente de velocidad periférica.	154
Figura 78.	Triangulos de velocidades a la entrada	159
Figura 79.	Triangulo de velocidades a la salida.....	160
Figura 80.	Forma de la cuchara	164
Figura 81.	Dimensiones de la cuchara	164
Figura 82.	Dimensiones finales de la cuchara	165
Figura 83.	Construcción del paso Angular de la Rueda.....	167
Figura 84.	Triangulo de velocidades de salida para una partícula	168
Figura 85.	Formación de la trayectoria absoluta.....	168
Figura 86.	Movimiento de la rueda respecto al chorro	172
Figura 87.	Trayectorias relativas de dos cucharas vecinas	173

Figura 88.	Trayectorias relativas de dos cucharas vecinas rueda pelton	174
Figura 89.	Orientación de las Cucharas en la rueda pelton	175
Figura 90.	Dimensiones finales del rodete pelton	176
Figura 91.	Rodete pelton.....	177
Figura 92.	Cargas en las cucharas.....	178
Figura 93.	Análisis sección 1	181
Figura 94.	Cargas en las sección transversal 2	183
Figura 95.	Fuerzas en el asiento de la cuchara	185
Figura 96.	Diagrama de fatiga para varios criterios de falla	187
Figura 97.	Vistas de sección rodete	188
Figura 98.	Analisis CAE de la cuchara	189
Figura 99.	Inyector	190
Figura 100.	Partes del inyector	191
Figura 101.	Diagrama de Fuerzas en La Tobera.....	192
Figura 102.	Datos dimensionales de los pernos.....	193
Figura 103.	Disposición de cargas en el eje.....	196
Figura 104.	Cargas sobre el eje.	197
Figura 105.	Disposición de las correas	197
Figura 106.	Cortantes y momento en Planos x-y	200
Figura 107.	Cortante y momento Planos x-z	201
Figura 108.	Eje de la turbina Pelton	208
Figura 109.	Elementos de la carcasa. A) Base carcasa, B) tapa carcasa.	209
Figura 110.	Detalles dimensionales de la tapa. (Unidades mm).....	210
Figura 111.	Detalles dimensionales de la base de la carcasa (Unidades mm)	210
Figura 112.	Análisis CAE Carcasa	211
Figura 113.	Factor de condiciones de operaciones	215
Figura 114.	Selección de los rodamientos	216
Figura 115.	Selección del tipo de correas trapezoidales	219
Figura 116.	Potencias nominales de correas trapezoidales SPA	220
Figura 117.	Partes del Bastidor.....	225

Figura 118.	Disposición de tensiones en la polea menor	225
Figura 119.	Análisis CAE Bastidor	228
Figura 120.	Representación del sistema de control por carga.....	230
Figura 121.	Regulador de frecuencia por carga	230
Figura 122.	Tanque para disipación de energía con resistencias sumergidas	231
Figura 123.	Válvula de compuerta	233
Figura 124.	Válvula y motorreductor	234
Figura 125.	Acoples de cruceta.....	235
Figura 126.	Bastidor Válvula	235
Figura 127.	Análisis CAE bastidor válvula.....	236
Figura 128.	Micro-controlador MC9S08QE128CLH	236
Figura 129.	Foto Interruptor GP1A57HRJ00F	237
Figura 130.	Conexiones para disposición de elementos electrónicos	237
Figura 131.	Dispositivo de control de válvula.	238
Figura 132.	Elementos distribuidos en la casa máquina	239
Figura 133.	Panel de control para visualización de parámetros	240
Figura 134.	Perfil de líneas de transmisión de energía	242
Figura 135.	Distancia mínimas al suelo.....	243
Figura 136.	Cargas puestas en el poste crítico	244
Figura 137.	Estática del Poste	245
Figura 138.	Simulación de cargas en SAP- 2000.....	247
Figura 139.	Selección de propiedades para simulación	247
Figura 140.	Diagramas de cortante y momento para el poste.	248
Figura 141.	Diagrama de carga axial y torsión en el poste.....	249
Figura 142.	Cargas en la zona de cimentación	251
Figura 143.	Modelos del rodete en cera.....	254
Figura 144.	Modelos del rodete en madera.....	254
Figura 145.	Caja de machos en madera	255
Figura 146.	Machos en arena silica con bentonita	255
Figura 147.	Modelos de la carcasa en madera	256

Figura 148.	Modelo del inyector en madera	257
Figura 149.	Diagrama de flujo del proceso de fundición.....	258
Figura 150.	Fundición del rodete.....	259
Figura 151.	Rodete Pelton fundido.....	259
Figura 152.	Carcasa fundida	260
Figura 153.	Tobera fundida.....	260
Figura 154.	Procesos de mecanizado en la carcasa	261
Figura 155.	Pulido de las cucharas del rodete	262
Figura 156.	Bastidor conjunto Turbina-Generador	263
Figura 157.	Ensamble de piezas de la turbina	264
Figura 158.	Ensamble equipo electromecánico.....	264
Figura 159.	Ensamble válvula + moto-reductor	265
Figura 160.	Instalación sensor óptico reflectivo.....	266
Figura 161.	Instalación del Cable Pulso Remoto.....	266
Figura 162.	Estructura armada en madera del desarenador	267
Figura 163.	Cimientos y estructura armada en madera de muros bocatoma .	268
Figura 164.	Bocatoma de fondo en concreto reforzado.....	269
Figura 165.	Desarenador de placas deflectoras en concreto reforzado	269
Figura 166.	Transporte de rollos de manguera de 3" de HDPE.....	270
Figura 167.	Orientación de lineamientos de la tubería.	271
Figura 168.	Construcción de la zanja de instalación de manguera.....	271
Figura 169.	Uniones con abrazaderas	272
Figura 170.	Camino de acceso a la casa maquinas.....	273
Figura 171.	Cimientos de casa maquina	273
Figura 172.	Fundición del muro de soporte de la turbina	274
Figura 173.	Levantamiento de paredes de la casa máquina	275
Figura 174.	Casa maquinas terminada	275
Figura 175.	Pedestal de los postes armados en sitio	276
Figura 176.	Molde armada en madera para fundición de postes.....	277
Figura 177.	Vano de tres líneas Finca Mirasol	278

Figura 178.	Instalación de redes en postes.....	279
Figura 179.	Banco de resistencias	280
Figura 180.	Resistencia de 1500 W. resistencia en ohm.....	281
Figura 181.	Corriente en resistencia de 1500 W, con conexión 220 V.	281
Figura 182.	Curva de Eficiencia vs rpm.....	282
Figura 183.	Curva de potencia vs rpm	282
Figura 184.	Curva torque vs rpm.....	283
Figura 185.	Medidor de presión en la entrada al a válvula.	284
Figura 186.	Pico-central hidroeléctrico de 5 KW	285
Figura 187.	Caja de control + medidores de voltaje y corriente.....	285
Figura 188.	Verificación de corrientes en la fase.....	286
Figura 189.	Circuito prueba de generación	286
Figura 190.	Circuito de pruebas del control por carga.....	288
Figura 191.	Esquema básico de conexiones del controlador y vivienda.....	289
Figura 192.	Captación de agua en verano	291
Figura 193.	Cámara de excesos	291
Figura 194.	Resalto o colchón amortiguador.....	292
Figura 195.	Creciente Soportada por las obras de captación.....	292
Figura 196.	Cámaras del desarenador.....	293
Figura 197.	Herramientas	305
Figura 198.	Capacitación de Operadores.....	307

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	Formatos de inspección visual y registros de mantenimientos	329
ANEXO B.	Tramites ambientales.....	332
ANEXO C.	líneas de código programación sistema de apagado y encendido desde el lugar de consumo.....	335
ANEXO D.	Principales Dimensiones chumacera ntn ucfg205d1	338
ANEXO E.	Planos.....	340

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL EN LA VEREDA SACRAMENTO, CORREGIMIENTO DE FUNDACIÓN MAGDALENA.*

AUTORES:

Julio Cesar Miranda Frias.

Ezequiel Villegas Contreras.**

PALABRAS CLAVES:

Picocentral Hidroelectrica, Turbina pelton, Casa máquina

DESCRIPCIÓN:

El objetivo del presente proyecto es diseñar y construir una picocentral hidroeléctrica de 5 KW para la Finca mirasol, con el fin de mejorar las condiciones de vida, los procesos productivos agropecuarios y cambiar aquellas máquinas agrícolas que funcionan a base de combustibles derivados del petróleo por equipos eléctricos amigables con el ambiente y con bajos costos de operación.

Dentro del proyecto se realizaron una serie de etapas, iniciando por realizar un estudio detallado de los requerimientos de energía en la Finca Mirasol y corroborando la capacidad energética de la fuente hídrica. En la segunda etapa se determinaron los medios más eficientes al alcance del proyecto para suplir los requerimientos. En la tercera etapa se realizó todo lo correspondiente al diseño de la turbina, la selección de los equipos eléctricos y elementos mecánicos implementados en la pico-central. En la cuarta etapa se realizaron todos los procesos de manufacturas pertenecientes a las piezas de la turbina y además la adquisición de los equipos seleccionados. En la quinta etapa se instalaron todos los implementos de la picocentral y elementos de transporte de energía eléctrica.

Posteriormente se realizan las pruebas de funcionamiento de la planta, realizando las distintas medidas de potencia, voltaje y corriente requeridos por la finca, con tal de brindar un buen funcionamiento de electrodomésticos y demás equipos presentes.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Néstor Raúl D'Croz T.

SUMMARY

TÍTULO:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 5 KW PICOCENTRAL HYDROELECTRIC FOR MIRASOL FARM IN THE SACRAMENTO SIDEWALK, TOWNSHIP OF FUNDACIÓN MAGDALENA*

AUTHORS:

Julio Cesar Miranda Frias.

Ezequiel Villegas Contreras.**

KEY WORDS:

Picocentral hydroelectric, Pelton Turbine, Machine House

ABSTRACT:

The objective of this project is to design and construction a 5 KW picocentral hydroelectric for Mirasol farm in order to improve living conditions, agricultural production processes, and change those agricultural machines operating with petroleum fuels for electrical equipment and environmentally friendly with low operating costs.

The project was carried out in several stages, starting with a detailed study of the energy requirements at Mirasol Farm and bearing out the energy capacity of the water source. On second stage, the most efficient means available to the project for supply the requirements, were determined. On third stage, the design of the turbine and the selection of the electrical and mechanical elements to put in place on the picocentral were made. On fourth step, all manufacturing processes belonging to the turbine parts and also the acquisition of the selected equipment were performed. On fifth stage all the implements and the energy transportation of the picocentral were installed

Subsequently, plant operation test was made through several power measures, voltage and electric current required by the farm, in order to provide a good performance of the electrical appliances and other equipment present.

* Degree Work.

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Néstor Raúl D'Croz T.

INTRODUCCIÓN

La población campesina es el fundamento de la sociedad colombiana, porque gracias a ellos es posible tener en los hogares diferentes productos de la canasta familiar y son estos los encargados de cuidar y utilizar las inmensas riquezas naturales. Sin embargo estas comunidades se encuentran sumergidas en una serie de problemas sociales, políticos y económicos. En la mayoría de los casos, por estar ubicadas en zonas remotas del país, el corazón de la sociedad desconoce las condiciones en las que gran parte del pueblo campesino vive.

En las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la Vereda SACRAMENTO, corregimiento de Fundación Magdalena, ubicada a 1300 msnm se encuentra la Finca MIRASOL que al igual que las 193 familias pertenecientes a la zona, tienen como actividad principal la producción de café. Los propietarios de esta finca han querido mejorar sus condiciones de vida implementando la tecnificación agrícola, con el fin de aprovechar en mayor proporción las riquezas naturales, pero debido a que en esta como en muchas zonas remotas del país, es muy difícil tener acceso a una fuente de energía continua que garantice la utilización de equipos eléctricos necesarios para diferentes procesos, que realizados de manera manual aumentarían la fuerza de trabajo humano. La comunicación es muy ineficiente puesto que no se tienen los servicios de televisión, internet, teléfonos, y la utilización de la radio y celulares es muy esporádica por la dificultad de cargar las baterías.

En búsqueda de mitigar esta serie de dificultades, se quiere con el presente proyecto diseñar y construir una picocentral hidroeléctrica que garantice la presencia de una fuente de energía continua y promover el desarrollo en las zonas alejadas del país.

Contar con el servicio de energía eléctrica es el sueño de muchos de los campesinos que viven en lugares aislados, como es el caso de la finca MIRASOL.

Para ellos la interconexión nacional no llegará en muchos años. Sin embargo existe una alternativa que ayudará con el cumplimiento del sueño de estas personas; Se creará una picocentral hidroeléctrica utilizando las fuentes hídricas presentes en la finca, aprovechando la energía potencial que estas poseen, al transformarlas en energía mecánica de eje mediante una turbina pelton que alimentará un generador eléctrico, luego se transportará hasta el lugar de consumo por medio de líneas conductoras, en donde se utilizaran para diferentes procesos, entre los cuales se destacan el alumbrado, despulpado y secado de café, molienda de caña, La refrigeración de productos perecederos y demás servicios domésticos. La planta se instalará en los terrenos de la finca y el agua utilizada será devuelta a la quebrada aguas abajo de la bocatoma.

Figura 1. Cultivo de Café en la Finca Mirasol.



Fuente: Autores

1. JUSTIFICACIÓN

Dentro del desarrollo de este proyecto se logrará construir una picocentral hidroeléctrica para la finca MIRASOL en la vereda de SACRAMENTO, que tiene por objeto satisfacer la necesidad de servicio de energía eléctrica en la finca, lo que lleva consigo un buen indicador de bienestar, seguridad, crecimiento y desarrollo en la zona, de manera específica contribuirá en sus inicios al mejoramiento de las condiciones de vida de las personas ya que obtendrán una vivienda más completa, y la posibilidad de implementar mejores medios de información como lo es; La televisión, radio y teléfonos. Además la finca estará apta para prestar el servicio de energía al colegio de la zona lo cual mejorara las condiciones educativas con las que cuenta la comunidad.

Es importante destacar que con la facilidad de una fuente de energía en una finca cafetera como lo es el caso de la finca MIRASOL, los procesos de despulpe y seca de café, se realizarán de manera tecnificada, eficaz y eficiente; Con lo cual la finca podrá tornarse a generar nuevas fuentes de ingresos independientes al café, ya sea que se dirija al área de la avicultura, ganadería tecnificada entre otros posibles sistemas productivos en la zona, que también generan empleo y contribuyen con el desarrollo social a través de la prestación de servicios a la comunidad.

Es de prevalecer en el desarrollo del proyecto que no solo está dirigido a satisfacer la necesidad del servicio de energía sino que implica el reemplazo aquellas maquinarias que funcionan a base de combustibles derivados del petróleo que contaminan el ambiente y sus costos de operación son muy elevados al realizar jornadas continuas de trabajo, por maquinas eléctricas que tienen menor impacto ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la Universidad Industrial de Santander en el cumplimiento de sus objetivos misionales de formar personas capaces de solucionar problemas, participando activamente en procesos de cambio en busca del progreso y la mejor calidad de vida de la comunidad, diseñando y construyendo una Picocentral hidroeléctrica que satisfaga las necesidades de energía en una finca en la Sierra Nevada de Santa Marta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Se desea diseñar y construir una Picocentral hidroeléctrica de 5 kw en la finca mirasol en la vereda sacramento, corregimiento de fundación magdalena, para lo cual se deberá:

- ✓ Diseñar, construir e instalar una turbina Pelton capaz de satisfacer los requerimientos de potencia de la finca Mirasol.
- ✓ Construir un panel de control que permita monitorear el funcionamiento de la planta, en el cual se puedan visualizar la corriente, el voltaje, la potencia eléctrica generada por el conjunto electromecánico y un sistema de protección contra sobrecargas. Además un cuarto de máquinas para mantener aislado el sistema de condiciones ambientales desfavorables y de la manipulación de personal no autorizado.
- ✓ Elaborar un control remoto que permita el apagado y encendido del sistema desde el lugar de consumo ubicado a 500 metros de la casa-maquinas por medio de un accionamiento eléctrico de una válvula.
- ✓ Seleccionar el generador y los equipos eléctricos necesarios para el transporte de la energía a los diferentes puntos de consumo.

- ✓ Implementar un sistema de control por carga utilizando un regulador electrónico que derive la energía no consumida hacia un banco de resistencias para calentar agua utilizada para consumo doméstico.
- ✓ Capacitar el personal sobre el funcionamiento y mantenimiento de la planta.
- ✓ Realizar pruebas de funcionamiento y comprobar que se cumple lo propuesto en este proyecto.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ZONAS RURALES Y SU PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA.

En las áreas rurales de países en desarrollo, la densidad de la población es bastante baja, las viviendas están muy distantes y el estilo de vida requiere menos energía per cápita comparado con el de la ciudad. La demanda de energía se reduce generalmente a uso doméstico y a actividades económicas a pequeña escala. Una de las principales razones por las cuales la población rural no tiene fácil acceso a la energía radica en la elevada inversión requerida para construir una red de distribución a partir de las ya existentes, para suministrar electricidad a una pequeña carga o bien adquirir un equipo de generación a base de combustibles derivados del petróleo.

Las pequeñas comunidades rurales pueden mejorar sus condiciones de vida y facilitar algunas labores agrícolas y domésticas, aplicando tecnologías apropiadas, que aprovechan los recursos propios de la región, tales como pequeñas caídas de agua, fuerza del viento, desechos orgánicos y radiación solar para producir energía.

3.2 FUENTES DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS¹

Hoy en día el mundo se encuentra en crisis, la humanidad vive en permanente conflicto en todos los ámbitos, educación salud, política, justicia, moral, social y ambiental. El tema energético está incluido en la problemática ambiental, dado que los principales recursos naturales son finitos. Es cierto que en la actualidad existe una situación compleja en términos energéticos, cuya causa se debe al uso indiscriminado de las fuentes no renovables de energía. Es precisamente esta realidad la que incentiva el uso de las energías alternativas ya que es necesario

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL “Colombia una potencia en energías alternativas” <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>

en un mundo responsable y consciente apoyar un desarrollo tecnológico alternativo sostenible y futurista.

El agotamiento de las fuentes tradicionales de energía ha puesto a la mayoría de países del mundo a encontrar soluciones en energías alternativas. Colombia tiene un gran potencial en la generación de este tipo de energías por sus inmensas riquezas naturales. Las energías alternativas o renovables son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra.

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando.

Las energías alternativas provienen de recursos que están relacionados con los ciclos naturales del planeta, haciendo posible que se disponga del recurso de manera permanente. Cada una de las energías implica diferentes tipos de tecnologías con las cuales se obtiene energía en forma de electricidad, fuerza motriz, calor o combustibles. Se han clasificado en seis grupos principales: Energía Solar, Energía Eólica (del viento), Energía de la Biomasa, Energía Hidráulica, Energía de los Océanos y Energía de la Geotermia.

Energía Solar

Es utilizada de manera directa por medio de colectores solares para el calentamiento del agua, para propósitos industriales y domésticos. Y por medio de celdas fotovoltaicas, que convierten la energía proveniente del sol en energía eléctrica, que puede ser utilizada para diferentes procesos.

Energía Eólica

Históricamente utilizada para el bombeo de agua y la molienda de granos, sin embargo con el paso del tiempo se pudo generar electricidad a partir del viento. Convirtiéndose hoy en día en una de las más atractivas fuentes alternativas de energía.

Energía de Biomasa

La biomasa es cualquier material de tipo orgánico proveniente de seres vivos que puede utilizarse para producir energía. Utilizan tecnologías que dependen de la cantidad y clase de biomasa disponible. Con los principales sistemas de transformación pueden obtenerse combustibles, energía eléctrica, fuerza motriz o energía térmica.

En Colombia se tienen estudios de producción de biomasa con el bagazo de la caña, que se estima una producción anual de 1.5 millones de toneladas y de cascarilla de arroz, con la que se producen más de 457.000 toneladas al año. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

Energía Hidráulica

Se basa en el aprovechamiento de la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial durante la caída se transforma en cinética, que al pasar por una turbina generan movimiento de rotación y finalmente se transforma en electricidad por medio de generadores. Su competitividad frente al carbón y petróleo es muy baja por su inversión inicial. Sin embargo el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento, centran la atención en esta fuente de energía.

Energía Geotérmica

Se trata de aprovechar la energía calorífica que existe en el interior de la tierra para obtener calor o electricidad. Esta energía es libre de contaminación, pero cuesta dos o tres veces más de lo normal y es limitada en zonas con actividad tectónica.

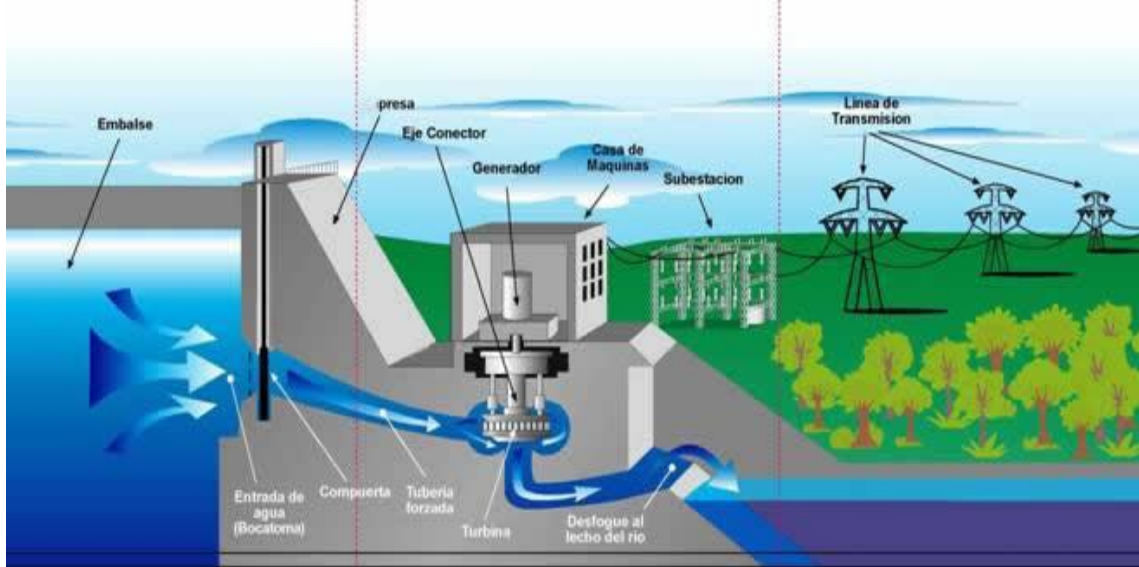
Energía Mareomotriz

Los océanos albergan energías de nivel incalculable que apenas se están aprovechando. Realmente, sólo existe una cuarta parte del planeta que no está cubierta de agua, las otras tres partes guardan recursos energéticos de gran valor disponibles para explotar de manera inagotable, Consiste en convertir la energía potencial que contienen las mareas en energía eléctrica.

3.3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de energía hidráulica. Concentrando grandes cantidades de agua en un embalse se tiene inicialmente energía potencial, por acción de la gravedad el agua adquiere energía cinética al pasar de un nivel superior a otro muy bajo a través de las obras de conducción, se generan de esta manera la energía hidráulica, la que se aprovecha en las turbinas para transformarla en energía mecánica, y posteriormente se propaga a los generadores eléctricos que realizan la transformación en energía eléctrica, que se transporta a subestaciones donde se eleva el voltaje para que llegue a los lugares de consumo con la debida calidad.

Figura 2. Esquema de una central hidroeléctrica



Fuente: <http://bio4esobil2009.wordpress.com/page/2/>

3.3.1 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas²

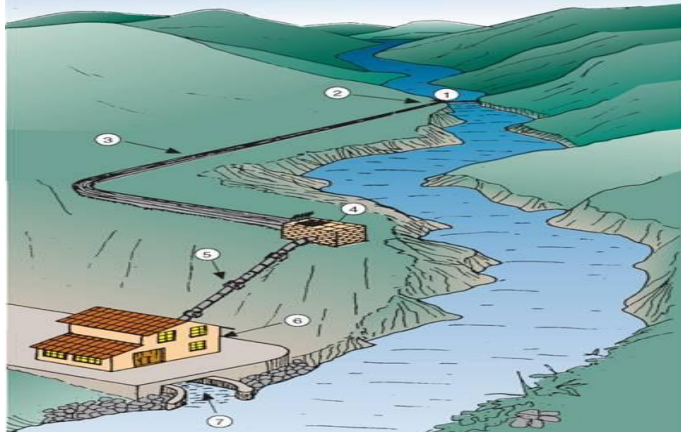
3.3.1.1 Según el tipo de embalse

Central de agua fluyente o central sin embalse.

Este tipo de centrales utilizan parte del caudal del río, en donde el agua no turbinada se derrama por un aliviadero y sigue su recorrido natural. Esta aplicación es la utilizada de manera más frecuente en centrales de mediana y baja potencia, tienen un impacto mínimo en el medio ambiente, ya que al no bloquear el cauce del río no se inundan los terrenos adyacentes.

² MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

Figura 3. Esquema de una central de caudal fluyente

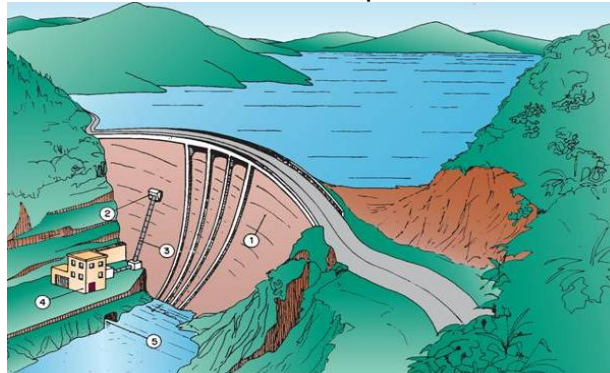


Fuente: <http://juanjosegarciaegocheaga.com/tecnicatipos.html>

Central con embalse o de regulación.

Este tipo de obras también son reconocidas como centrales a pie de presa. Presentan la opción de almacenar toda la energía del agua de una fuente hídrica mediante un embalse, lleva consigo la utilización de gran terreno para inundar, se debe regular los caudales de salida para ser utilizados durante un pico alto de consumo. Las desventajas que se presentan son; La posible evacuación de poblaciones cercanas, gran impacto ambiental al alterar la fauna acuática y es necesario utilizar altas tecnologías de control.

Figura 4. Esquema de una central con represamiento de agua

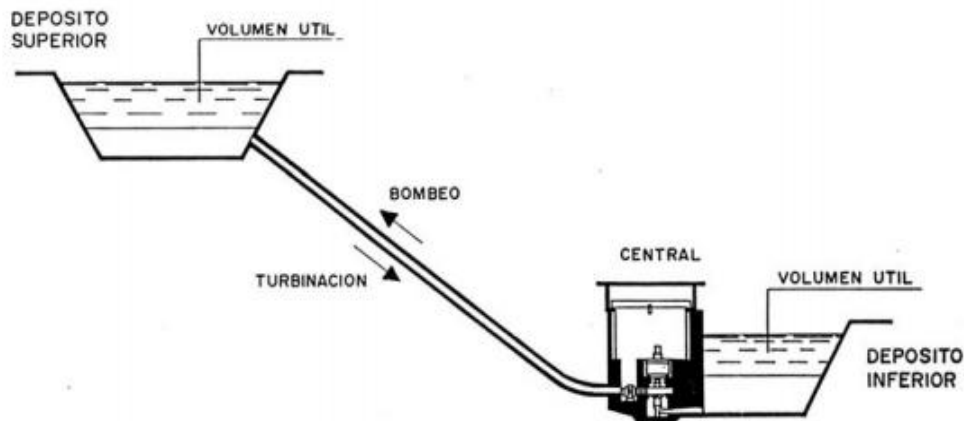


Fuente: <http://juanjosegarciaegocheaga.com/tecnicatipos.html>

Central de acumulación por bombeo

Este tipo de centrales disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel durante el día, el agua almacenada en el embalse superior hace girar el equipo de generación respondiendo a la demanda energética, después el agua queda almacenada en un embalse inferior. Durante las horas del día en que la demanda energética disminuye el agua es bombeada al embalse superior para que pueda hacer ciclo productivo nuevamente.

Figura 5. Esquema de una central por Bombeo



Fuente: <http://dc302.4shared.com/doc/eidtzXZh/preview.html>

Centrales mareomotrices

Estas centrales utilizan la energía de las mareas de los océanos para producir energía eléctrica. La diferencia de energía potencial que adquiere el agua del mar en forma de marea alta y baja se denomina amplitud de marea y corresponde a una fuente gratuita, limpia e inagotable de energía. La técnica utilizada consiste en encausar el agua de la marea en una cuenca y en su camino accionar las turbinas de la central. Cuando las aguas se retiran también generan electricidad.

Figura 6. Esquema de una central Mareomotriz



Fuente: <http://energiadelasmareas.blogspot.com/>

3.3.1.2 Según la altura neta del salto

Esta clasificación es de gran importancia porque el salto, más que ninguna otra característica determina el tipo de instalaciones de aprovechamiento hidroeléctrico. Se tienen centrales con saltos de pequeña, mediana y gran altura.

Saltos de pequeña altura $H \leq 14.99$ m

Saltos de mediana altura $15\text{m} \leq H \leq 49.99\text{m}$

Saltos de gran altura $H \geq 50\text{m}$

3.3.1.3 Según la potencia Instalada³

Los límites de esta clasificación son convencionales y relativos según las posibilidades hidroeléctricas de cada país o región. Desde el punto de vista Europeo y para Centroamérica se pueden establecer:

³ Il Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4.

Tabla 1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas por potencia Europa

Clasificación	Rango de Tamaño
Microcentrales	$P_a < 100\text{KW}$
Centrales de pequeña potencia	$100 \leq P_a \leq 1000\text{KW}$
Centrales de media potencia	$1000 \leq P_a < 10000\text{KW}$
Centrales de gran potencia	$P_a \geq 10000\text{KW}$

Fuente: Autores

Tabla 2. Clasificación de las centrales por potencia Centroamérica

Clasificación	Rango de Tamaño
Nano	Varios hasta 1KW
Pico	1KW hasta 10KW
Micro	10KW hasta 50KW
Mini	50KW hasta 1000KW
Pequeñas	1MW hasta 5MW
Mediana	5MW hasta 30MW
Grande	Arriba de 30MW

Fuente: Manual de diseño de pequeña centrales hidroeléctricas OLADE.

3.3.1.4 Según el sistema de explotación

Centrales Aisladas o Independientes

Alimentan una red de consumo particular sin conexión a una red general alimentada por otras centrales.

Centrales Coordinadas

Alimentan una red general de consumo junto con otras centrales, la tendencia moderna es la unificación de la red nacional con interconexión a la red de otros países y conexión a esta red de todas las centrales incluyendo las más pequeñas.

3.3.1.5 Según la demanda que satisfacen

Centrales de Base

Proporcionan la parte de la energía que se consume de manera permanente, funcionan con un régimen muy uniforme a lo largo del año, salvo los periodos de reparación o revisión.

Centrales de Punta

Suministran la energía necesaria para atender las puntas de consumo, es decir las grandes demandas de energía que solo se presentan unas pocas horas al día.

3.4 PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA

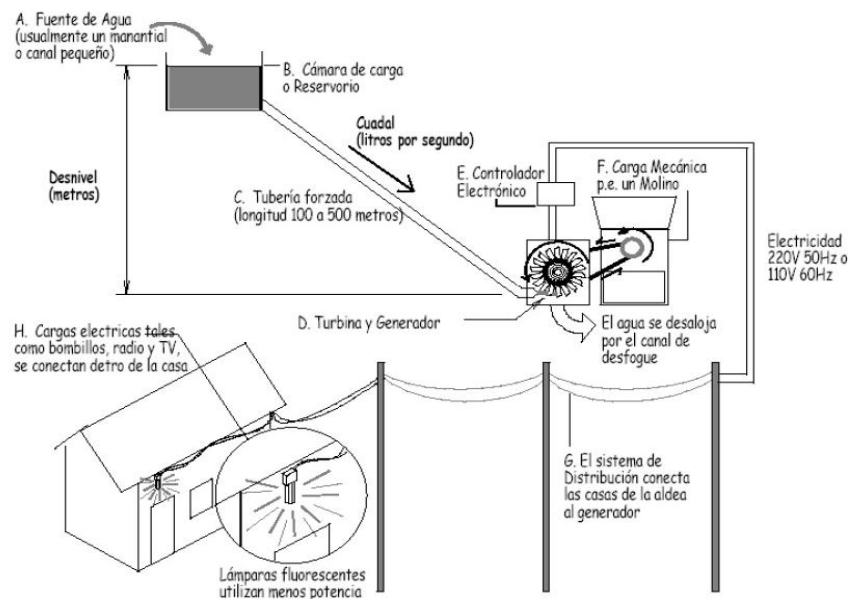
Una picocentral Hidroeléctrica se refiere a instalaciones con niveles de generación eléctrica menores a diez kilovatios. Sistemas hidroeléctricos de este tamaño gozan de ventajas en términos de costo y simplicidad, comparados con sistemas Hidroeléctricos de mayores capacidades, pequeñas poblaciones ubicadas en zonas remotas aprovechan esta tecnología para generar electricidad permitiendo el funcionamiento de equipos eléctricos estándares. Ejemplos comunes de los aparatos que funcionan en estos sistemas son: Lámparas para iluminación, radios, televisores, neveras, herramientas para talleres, molinos y equipos para el procesamiento de productos agrícolas. En países en vías de desarrollo existe un mercado sustancial para este tipo de sistemas debido a varios factores.

- ✓ A menudo en países que tienen amplias redes de distribución eléctrica, hay muchas comunidades pequeñas sin electrificarse. A pesar de la fuerte demanda por la electrificación, la conexión de estas comunidades a las redes no es rentable para las empresas eléctricas, debido a los bajos niveles de consumo que estas pequeñas comunidades representan.
- ✓ La maquinaria es relativamente pequeña y compacta lo que facilita el transporte a sitios de difícil acceso.
- ✓ Se requieren pequeños caudales, muchas veces un manantial o arrollo provee suficiente agua para la instalación de una picocentral hidroeléctrica.
- ✓ Instalar picocentrales cuidadosamente diseñadas tienen costos por Kilovatio menores que instalaciones fotovoltaicas solares o de viento. Sistemas de generación diesel, aunque tengan un costo inicial menor, resultan más costosos sobre su vida útil debido al alto costo del combustible.

3.4.1 Elementos de una picocentral Hidroeléctrica

Una picocentral hidroeléctrica aprovecha la energía potencial de una caída de agua y la transforma en energía eléctrica por medio de un sistema que contiene ciertos elementos como se muestran en la figura.

Figura 7. Esquema de una Picocentral Hidroelectrica



Fuente: <http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/ImpspanCh1-6.pdf>

Una picocentral se puede dividir en tres grandes sistemas. Las Obras Civiles, el equipo electromecánico y las redes de distribución.

3.4.2 Obras civiles

Un pequeño aprovechamiento hidráulico incluye un número de estructuras, cuyo diseño viene condicionado por el tipo de fuente hídrica, las condiciones locales, el acceso a los materiales de construcción e incluso por las tradiciones arquitecturales del país o región. A continuación se indican las estructuras más corrientes en un aprovechamiento hidráulico.

3.4.2.1 Obras de Captación⁴

En una picocentral, la fuente hídrica la comprenden arroyos y quebradas de pequeño caudal, o una pequeña derivación de un río, lo importante es que la fuente sea confiable y garantice el caudal necesario para la obra y que no sea requerida por otras personas para otros propósitos.

Bocatomas

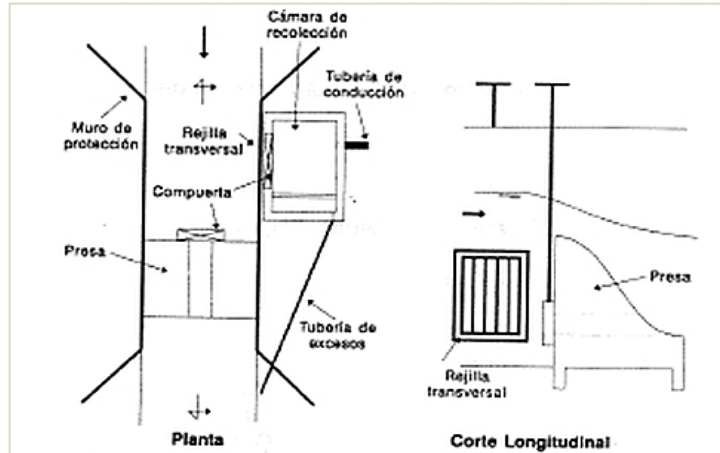
Una bocatoma es la estructura a través del cual se realiza la derivación o toma del caudal de diseño. Este tipo de obras se deben localizar en zonas donde el suelo sea estable, resistente a la erosión y en un sector recto del cauce. Existen diferentes tipos de bocatomas y sus aplicaciones parte de la naturaleza del cauce y la topografía del proyecto.

✓ **Bocatomas laterales con muros transversales**

Se utiliza en ríos pequeños o quebradas en las cuales la profundidad del cauce no es muy grande, por lo cual se emplea un muro transversal para elevar el nivel de agua, y está a la vez ser captada lateralmente a través de una rejilla. Sus limitaciones están prestas a ríos en los cuales existe arrastre de material en las épocas lluviosas.

⁴ CORCHO, Freddy H y DUQUE, Jose I. Acueductos: teoría y diseño. 3^a. Ed. Medellín: universidad de Medellín, 2005. 640 p.

Figura 8. Bocatomas laterales

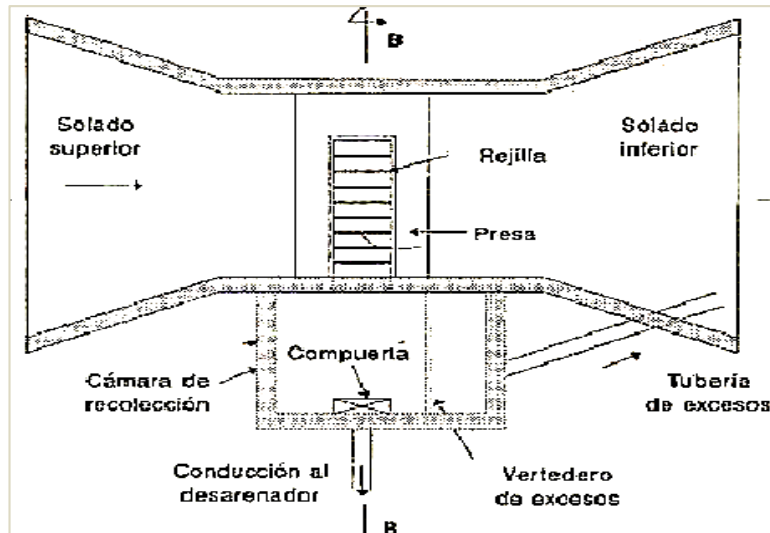


Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. Ricardo Lopez. 2^{da} edición.

✓ **Bocatoma de fondo**

Se emplea en ríos de cauce pequeños, que por lo general se encuentran en zonas montañosas, de tal manera que se utiliza una rejilla en la parte superior de la presa que direcciona en sentido normal de la corriente del río el caudal de captación.

Figura 9. Bocatoma de fondo

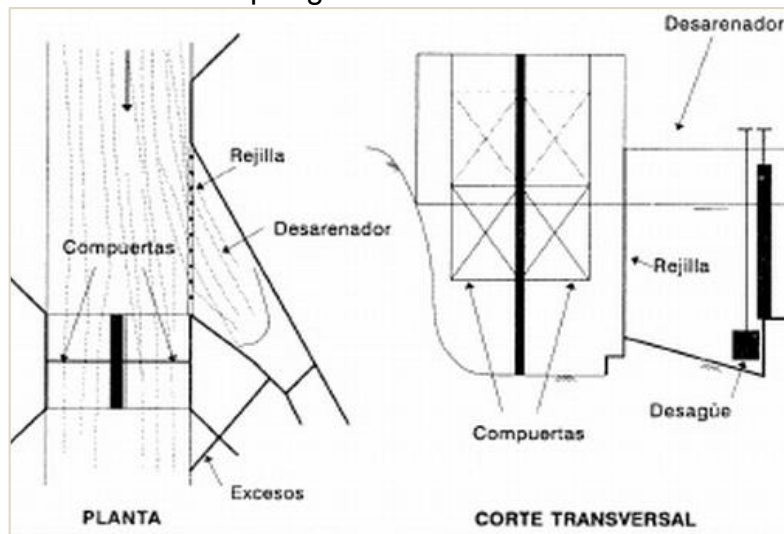


Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. Ricardo Lopez. 2^{da} edición.

✓ **Bocatoma lateral por gravedad.**

Para este tipo de obras se necesitan condiciones de grandes caudales y profundidad de cauce, y su captación se realiza de a través de la manipulación de compuertas ubicadas de forma transversal para el control de los niveles del río y una rejilla sumergida para la captación.

Figura 10. Bocatoma lateral por gravedad



Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. Ricardo Lopez. 2^{da} edición.

Desarenador⁵

El desarenador es una de las obras civiles construidas con el fin de retener las partículas de arena que llevan las aguas superficiales evitando el ingreso de estas partículas al canal de aducción de las centrales hidroeléctricas.

Su principio de funcionamiento enfatiza sobre la reducción de la velocidad del agua y a la vez de la turbulencia en la misma. Consiguiendo que las partículas de

⁵ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. p 59.

arenas en suspensión se depositen en la cámara de lodos, la cual requerirá de mantenimientos periódicos.

La construcción de los desarenadores se debe ejecutar lo más cercano posible a la captación de aguas y su capacidad hidráulica se ve determinada por el caudal máximo diario y las necesidades del sistema implantado.

3.4.2.2 Tubería de presión

En las centrales hidroeléctricas, las tuberías de presión o tuberías forzadas, tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de presión a las turbinas cuando, por causa de la altura del salto, se precisa tal disposición para transformar la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara de presión, en energía potencial presión, que tiene junto a la turbina y al final de la conducción forzada.

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado. Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de éste, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno.

Materiales para tuberías de presión

Al decidir el material que se empleará para un proyecto tienen que ser considerados los siguientes factores:

- Presión de diseño
- Tipo de unión
- Diámetro y pérdida por fricción
- Peso y grado de dificultad de la instalación

- Accesibilidad al sitio
- Terreno y tipo de suelo
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación
- Condiciones climáticas
- Disponibilidad
- Costo relativo

✓ **Tubería de Acero Comercial**

El acero comercial ha sido uno de los materiales más usados para tuberías de presión. Sus diámetros y espesores son variados, normalmente se encuentran el mercado en tramos de 6 metros. Tienen un factor de pérdida por fricción intermedio y si están recubiertas por una capa de pintura u otra capa de protección pueden incrementar considerablemente su vida útil. Son resistentes a impactos y relativamente pesadas, Lo que dificulta su transporte e instalación, especialmente cuando el montaje se realiza en zonas de difícil acceso. Además requiere de equipos especiales para realizar las uniones entre tubos.

✓ **Tubería de Policloruro de vinilo (PVC)**

La tubería de PVC es una de las más empleadas en las pequeñas centrales hidroeléctricas. Es relativamente económica, se producen en diámetros normalizados y es adecuada para trabajo a altas presiones. Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión. No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de rocas, en especial a bajas temperaturas. La principal desventaja radica en que el PVC se deteriora cuando se expone a la luz

ultravioleta. Por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa, ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación, envolviéndola o pintándola.

✓ **Tubería de Asbesto – cemento**

Las tuberías hechas de cemento reforzado con fibra de asbesto son frágiles y adecuadas para trabajar a una presión moderada. Son más pesadas que las de PVC y tienen una apreciable pérdida por fricción.

✓ **Tuberías en resina de poliéster con fibra de vidrio reforzado**

Las tuberías hechas de resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con bastante cuidado. Pueden ser utilizadas con presiones elevadas con la condición de que estén bajo tierra y se rellene el espacio donde se colocan con material fino seleccionado.

✓ **Tubería de Polietileno de alta densidad**

El sistema de tuberías de polietileno de alta densidad es liviano, flexible, resistente a los agentes químicos y a la abrasión, lo que permite sus usos en diferentes tipos de aplicaciones. Las tuberías fabricadas con este material son buena alternativa frente a las de PVC. Son particularmente útiles para pequeñas aplicaciones dada su fácil instalación. Tiene una superficie interior sumamente lisa. Mantiene excelentes propiedades de flujo durante toda su vida de servicio debido a su sobresaliente resistencia a la abrasión y agentes químicos, son resistentes a la corrosión y no permite desarrollo de bacterias o algas.

Casa maquinas

El espacio en el cual estará ubicada la turbina, el generador, tablero de control y equipos de protección del sistema se denomina casa maquinas. Este lugar debe

brindar los espacios necesarios para instalación, mantenimiento y operación de los equipos que contenga. Por lo general en estos cuartos de generación, se debe limitar el acceso a personal no autorizado con el fin de evitar daños o lesiones tanto al personal como a los equipos.

Figura 11. Casa Maquinas Microcentral en Trawas distrito de Mojokerto



Fuente: <http://www.thejakartapost.com>

Es necesario construir en sus obras civiles internas, los muros que soportan la maquina completa, las paredes de protección de los equipos y los accesorios y tubería que favorezcan a las condiciones de temperatura y humedad del cuarto.

3.4.3 Equipo Electromecánico

3.4.3.1 Turbinas Hidráulicas⁶

Las turbinas hidráulicas son máquinas capaces de convertir la anergia hidráulica en energía mecánica. Tiene básicamente una serie de alabes fijos y otra de alabes móviles que en el paso del fluido este entrega su energía. En una turbina

⁶ MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

hidráulica es posible identificar tres órganos principales; El distribuidor, el rodete y el difusor.

El distribuidor es un miembro fijo cuya misión es dirigir el agua desde la entrada de la maquina hasta la entrada del rodete, este órgano es el encargado de transformar la energía de presión en energía de rotación

El rodete es el corazón de la turbina, es el elemento más importante ya que es el encargado de realizar el intercambio de energía entre el agua y la máquina.

El difusor es un conducto por donde el agua abandona la turbina. En determinadas turbinas este elemento puede llegar a ser inexistente.

3.4.3.2 Clasificación de las turbinas Hidráulicas

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar según la variación de la presión dentro de la maquina en turbinas de acción y de reacción. Sin embargo es posible clasificarlas según la dirección de la entrada del agua en: Axiales, Radiales, Mixtas y Tangenciales.

Turbinas de acción

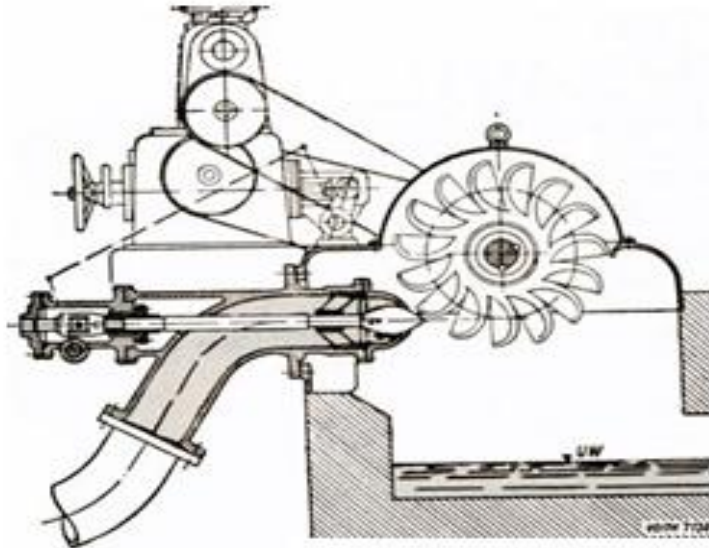
En las turbinas de acción el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica y llega al rodete con la misma presión, por tanto toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética. Entre ellas se tienen:

✓ **Turbinas Pelton**

Este tipo de turbinas se consideran como turbinas de acción, de flujo tangencial y admisión parcial, sus máximos rendimientos se obtienen en espacios en los cuales existen grandes saltos y bajos caudales. Por lo general estas turbinas pueden contar con uno o más inyectores, a través de los cuales se realiza la regulación del flujo que actúa frente a las cucharas de a turbina. Dentro de sus elementos

principales está el rodete que consta de un disco provisto de una serie de cucharas montadas en su periferia.

Figura 12. Esquema Turbina Tipo Pelton



Fuente: http://www.gonzalezpyadira.mex.tl/858690_11--Turbina-Pelton

✓ Turbinas Turgo

Se conoce como una turbina de acción, de flujo axial y de admisión parcial, que cuenta con un inyector tipo Pelton que inyecta un chorro de agua inclinado con respecto al plano del rodete, su ángulo alterna entre los 20° a 22.5° .

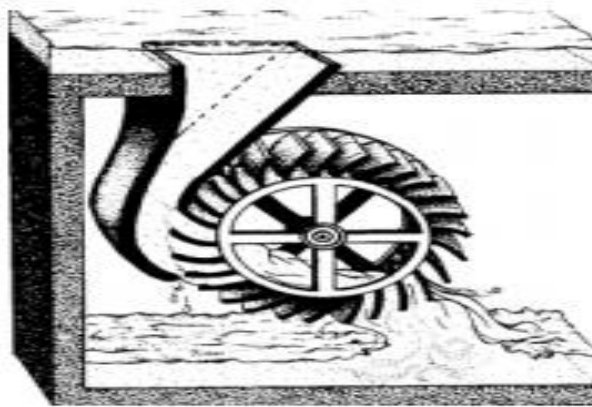
Comparándolo con la turbina Pelton dirige sus aplicaciones a condiciones en las cuales existen caudales mayores a los alcanzados por las turbinas Pelton, esto debido al diseño de sus cucharas. Trayendo consigo escaso riesgo de cavitación, buen manejo de partes en mantenimientos, pero tiene el inconveniente de la baja eficiencia y presencia de fuerzas axiales debido a la inclinación del chorro.

✓ Turbinas Michell-Banki

Obedece a una turbina de acción, con flujo radial, de doble paso y admisión parcial. Su rodete cuenta con un cilindro con alabes de perfil circular y simple curvatura. Su característica primordial consiste en la doble incidencia del chorro en los alabes del rodete en la medida que cruza en el interior del rodete.

Ofrece bajos costos, fácil construcción y buena eficiencia en amplios rangos de caudales, pero no muy alta cuando se compara con turbinas Pelton o Francis.

Figura 13. Esquema Turbina Michell-Banki



Fuente: turbinas hidráulicas: Pedro Fernández Díez

Turbinas de reacción

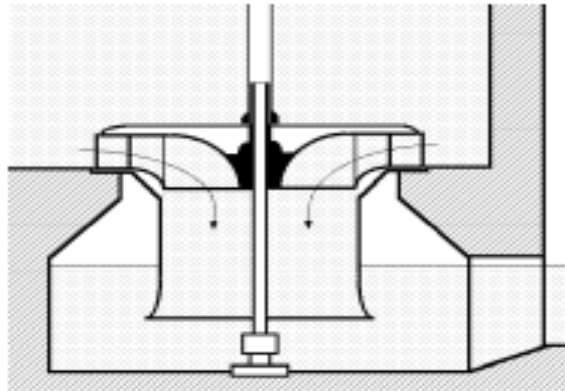
Dentro de este grupo se encuentran las turbinas Francis, Kaplan, turbinas axiales y bombas que operan como turbinas.

✓ Turbinas Francis

Son turbinas de reacción, de flujo mixto, centrípeto y de admisión total. Cuenta con un inyector y rodete de alabes fijos colocado en un disco. Por lo general el agua ingresa de forma radial en la periferia externa y sale en la dirección axial. En las

zonas de coincidencias con las turbinas Pelton, las Francis ofrecen comodidad dimensional en su construcción, rangos de operación a mayor velocidad, pero su eficiencia no es muy buena bajo cargas parciales.

Figura 14. Esquema Turbina Francis

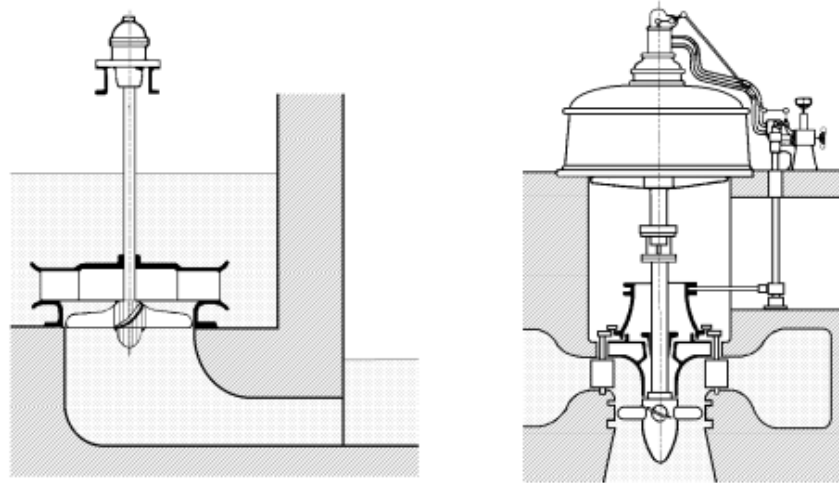


Fuente: Turbinas Hidráulicas: Pedro Fernández Díez

✓ Turbinas Kaplan

Se define como una turbina de flujo axial, de reacción y de admisión total. En su rodete posee alabes en perfil de ala de avión orientables lo cual le permite operar con muy buena eficiencia en un amplio rango de caudal. Su costo decrece al colocar los alabes fijos pero también decrece la eficiencia a cargas parciales.

Figura 15. Esquema Turbina Kaplan



Fuente: Turbinas Hidráulicas: Pedro Fernández Díez

✓ **Turbinas Axiales**

Este modelo ofrece la combinación y adaptación de un rodete y distribuidor Kaplan adaptado al flujo axial, variando de esta manera la carcasa en espiral a una carcasa cónica de sección convergente a la dirección del flujo. Este tipo de turbina en sus distintas versiones ofrece buen rendimiento en condiciones de gran caudal, para altos rangos de potencia.

✓ **Bombas que operan como turbinas**

En muchas pequeñas centrales hidroeléctricas el uso de bombas rotodinámicas ha sido algo común mediante la inversión del sentido del flujo y de la rotación. Su uso parte de la facilidad de adquisición y bajos costos en comparación con las turbinas, llevando consigo un bajo rendimiento por lo cual se recomienda para bajas potencias.

3.4.3.3 Selección del tipo de turbina⁷

En los grandes proyectos donde se implementan centrales hidroeléctricas por lo general la selección de turbinas se hace por medio del cálculo del número específico de revoluciones, lo cual consiste en asumir la velocidad óptima de giro de la turbina similar a alguna de las velocidades síncronas del generador, y con los datos de potencia y salto encontramos el número específico de revoluciones a través de la siguiente expresión:

$$N_s = n \times \frac{Pot^{1/2}}{H_n^{5/4}}$$

Dónde:

N_s = Velocidad específica

n = Velocidad de rotación de la turbina en rpm

Pot = Potencia generada [cv]

H_n = Altura nominal [metros]

Obteniendo este valor se dirige a la determinación de la turbina en la clasificación estandarizada por la organización latinoamericana de energía.

Este procedimiento aplica en los casos en que el sistema de acople turbina generador es directo, lo que ocurre generalmente en sistemas donde la potencia de la turbina es mayor a los 1000 KW.

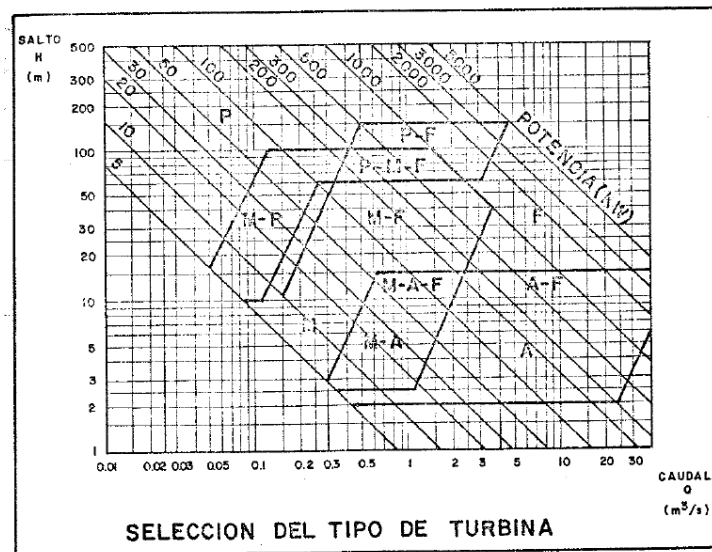
Cuando nos referimos a plantas hidroeléctricas con capacidad inferior a los 1000 Kw, la selección del tipo de turbina no solo se puede realizar a través del número

⁷ II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4.

específico de revoluciones, debido a que entre la turbina y el generador puede existir una transmisión ya sea por bandas o engranajes, para lo cual se hace tedioso conocer el diámetro del rodete sin determinar las revoluciones para la turbina.

En el presente caso en el cual solamente se tienen los parámetros de salto y potencia sistema, se dirige la determinación de la turbina al grafico de selección de turbinas planteado por la estandarización planteada por la organización latinoamericana de energía para turbinas Pelton (P), Michel-Bankin (M), Francis (F) y Kaplan (A), en el cual la potencia que indica el diagrama es la perteneciente al grupo turbina-generador.

Figura 16. Selección del tipo de turbina por Potencia



Fuente: Manual de diseño de pequeña centrales hidroeléctricas OLADE.

Teniendo las condiciones de salto y caudal es posible por medio de la anterior figura determinar el tipo de turbina y la potencia que generara, la cual tiende a variar debido a las condiciones en el medio, los materiales de construcción del sistema hidráulico, y los respectivos rendimientos de cada uno de los componentes del sistema hidroeléctrico.

3.4.3.4 Generadores Eléctricos⁸

Un generador es un equipo eléctrico de corriente directa o alterna monofásica o trifásica, utilizado para aprovechar una determinada energía mecánica entregada por una turbina, motor de combustión u otro medio, y convertirla en energía eléctrica.

Existen dos tipos de generadores en la actualidad; conocidos como los generadores síncronos y asíncronos, los cuales se describen a continuación.

Generadores Síncronos

Componente eléctrico cuya velocidad de rotación está en constante relación con la frecuencia del campo magnético. Por lo general Necesita ser excitada por un campo magnético continuo conocido como la excitatriz, para poder generar energía eléctrica. Existen varios modos de alimentación para la fuente de excitación en los generadores síncronos.

Tabla 3. Modos de alimentación de la Fuente de Excitación

Tipo alimentación para fuentes de excitación	Características
Excitación independiente	Fuente de excitación independiente que alimenta el rotor por medio de anillos rozantes y escobillas
Sin escobillas, o diodos giratorios	La fuente está dada por un rectificador no controlado ubicado en el rotor, que es alimentado con corriente alterna por un generador en el mismo eje en el cual su campo de excitación está dado por un rectificador controlado que procesa la señal de imanes en el mismo rotor.
Excitación electrónica de potencia	Se rectifica la señal por medio de rectificador controlado, y se alimenta a través de contactores o escobillas.
Excitatriz principal y excitatriz piloto	Se compone de dos máquinas, la maquina principal como bobinado de campo y la otra máquina como excitación independiente, ambas accionadas por el mismo eje.

Fuente: Autores.

⁸ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

Generadores Asíncronos

Son máquinas eléctricas en las cuales la velocidad de rotación del rotor es independiente de la frecuencia del campo magnético giratorio. Son usualmente utilizadas como motores, y en el caso de ser generadores se solicita la utilización de un banco de condensadores que cumplen la función de la excitatriz para que puedan funcionar de forma autónoma. Sus limitaciones están dadas por la construcción del banco de condensadores para potencias elevadas.

3.4.3.5 Control de generación en picocentrales hidroeléctricas⁹

Es evidente que en todos los centros de abastecimientos de energía exista una variación continua en el consumo debido a la utilización de equipos o cargas en momentos o espacios pertinentes, para lo cual en los sistemas de generación de potencia en los cuales cabe la posibilidad de generación de una potencia mayor a la consumida, se emplean los llamados reguladores de cargas, que no son más que equipos que direccionan el exceso de potencia generada a un banco de resistencia en el cual se disipa la energía en forma de calor. Otros medios que se utilizan para suplir la necesidad del control de generación son los llamados sistema de regulación de frecuencia por variación de caudal, los cuales son controles que regulan la frecuencia en la maquina a través de la variación del caudal, o en efectos se actúa sobre el dispositivo de entrada de flujo a la turbina q en muchos de los casos es el inyector.

Regulación por cargas

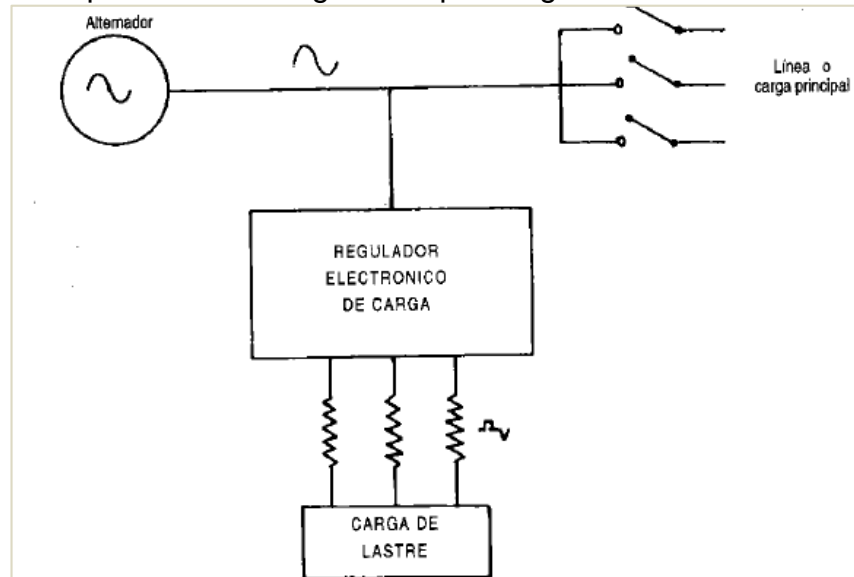
Las principales ventajas del control por medio de reguladores de carga son:

- Simplificación de diseño de las turbinas.
- Bajo costo de adquisición.

⁹ Il Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4.

- Estabilidad de presiones en la tubería.
- Operaciones de mantenimientos sencillas.
- Rapidez de respuesta a cambios de carga.

Figura 17. Esquema básico regulación por carga



Fuente: Manual de mini y micro-centrales hidroeléctricas

✓ Sistema de regulación analógica

La regulación analógica se basa en el control de frecuencia en la red, con lo cual se compara la frecuencia del alternador con la señal de frecuencia deseada, dependiendo del resultado de esta comparación se emite una señal dirigida a un controlador y posteriormente a un circuito de disparo donde se controla el ángulo de fase de las pulsaciones. La regulación se logra con el uso de rectificadores de control que permiten el paso de corriente hacia la carga secundaria cuando se recibe la señal del circuito de disparo.

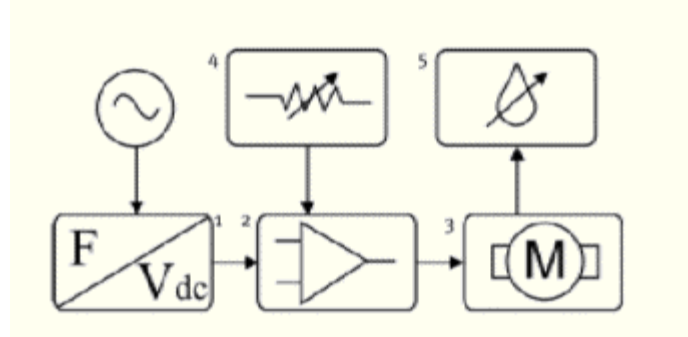
✓ Sistema de regulación digital

El proceso de control en este tipo de sistema es semejante al descrito anteriormente, solo que en este la onda de corriente no se corta, sino que se utilizan un grupo de relés que actúan conectándose y desconectando cuando la onda de corriente tiene un valor nulo.

Regulación de frecuencia por variación de caudal

En estos sistemas en los cuales la regulación de frecuencia se realiza a través de la variación del caudal, se utilizan servomecanismos controlados que actúan sobre el órgano regulador de caudal, con el fin de modular la cantidad de agua a utilizar en la turbina. Por lo general este tipo de sistema se emplean bajo condiciones de grandes caudales y en los cuales la cantidad de agua utilizada es una limitante de trabajo.

Figura 18. Esquema Regulador de frecuencia por variación de caudal



Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia>

Componentes básicos:

- Conversor de frecuencia en voltaje
- Circuito comparador

- Motor eléctrico
- Valor de referencia
- Dispositivo de modulación de caudal

Limitaciones de la regulación de frecuencia por variación de caudal.

- Relativamente costoso.
- Respuesta lenta ante variaciones de frecuencia y voltaje.
- Requiere personal calificado para su mantenimiento.

3.4.4 Sistema de transmisión mecánica de una picocentral hidroeléctrica

3.4.4.1 Elementos

En los sistemas de transmisión de potencias en turbinas hidráulicas, y los demás sistemas de transmisión por movimiento se distinguen dos elementos fundamentales:

- Elemento conducido (generador eléctrico)
- Elemento conductor (turbina)

Estos elementos se componen de dispositivos mecánicos conocidos como ruedas impulsoras, conducida, los ejes que soportan las ruedas y sus respectivos soportes como lo son los cojinetes.

3.4.4.2 Tipos de transmisión

En el mercado se existen un gran número de tipos de transmisiones de las cuales se distinguen:

Transmisiones flexibles por fajas

- ✓ **Bandas Planas:** en aplicaciones que requieren diámetros de poleas pequeños, velocidades altas de superficies de las bandas, niveles bajos de ruido, peso bajo o inercia baja.
- ✓ **Bandas Trapezoidales:** se utiliza en instalaciones donde la sincronización no es de gran importancia, se instalan y remueven fácilmente, son silenciosas en operación, por lo general su mantenimiento es poco, proporcionan absorción de impactos entre los ejes.
- ✓ **Bandas Dentadas:** son bandas síncronas que no deslizan, la tensión de trabajo es baja, con lo cual se producen cargas de apoyos pequeñas.

Figura 19. Bandas Trapezoidales



Fuente: <http://www.gearvel.com.ar/productos/productos.htm>

Transmisiones flexibles por cadenas de rodillos

Este tipo de transmisión se usa bajo la condición de no permitir deslizamientos, y en espacios en los cuales la distancia entre ejes es considerable, su desventaja aplica en que son sistemas ruidosos y de mantenimientos elevados con respecto a las bandas. Se distinguen de dos tipos:

- Simples
- Múltiples

Figura 20. Transmisión de cadenas múltiples

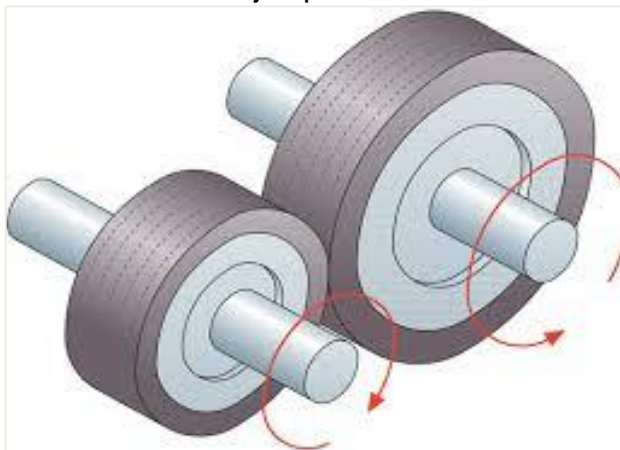


Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/cadenas/index.html>

Transmisiones por ruedas de fricción

- Cilíndricas de ejes paralelos
- Cilíndricas de ejes transversales
- Cónicas

Figura 21. Ruedas de fricción de ejes paralelos



Fuente: <http://www.educa2.madrid.org>

Transmisiones por engranajes

Son utilizadas en situaciones en que se transmiten torques elevadas y donde la eficiencia de transmisión debe ser elevada alrededor del 98 %. Sus costos de fabricación y mantenimientos son elevados y su aplicación se ve limitada por la distancia entre ejes y sus sistemas de lubricación.

Existen gran variedad de engranajes entre los cuales están:

- Cilíndricas de dientes rectos
- Cilíndricas de dientes helicoidales
- Cónicos de dientes rectos
- Cónicos de dientes espirales
- Tornillo sin fin con rueda dentada

Figura 22. Transmisión por engranajes rectos



Fuente: <http://tecnologiapirineos.blogspot.com/>

3.4.5 Redes de transmisión de potencia eléctrica

Uno de los puntos a considerar en el estudio en el caso de implantar un sistema de generación de energía está dirigido a los medios de transporte de la energía, que en el presente caso en donde aplican redes de baja tensión, se pretende llevar la

energía desde el punto de generación (casa maquinas) al punto de consumo ubicado a 500 metros de distancia.

En las zonas rurales los sistemas de redes eléctricas deben ser diseñados e instalados tomando todas las precauciones constructivas descritas en la RETIE, y la norma NTC 2050, donde se exponen los parámetros fundamentales para el diseño de las redes y sus respectivas protecciones en cada una de las subestaciones.

Las subestaciones se componen de puntos de apoyo que nos permiten aislar las líneas de transmisión energizadas de aquellos medios como las casas, arboles, personal, entre otros factores que podrían sufrir averías tanto a ellos como al sistema de transmisión.

Postes

Los postes son elementos de apoyos en las redes de transmisión que deben cumplir con requisitos tales como la altura adecuada para que las líneas aéreas al ser extendidas queden a la altura conveniente sobre el piso como lo recomienda la norma, y además los postes deben soportar los esfuerzos que los conductores ejercen en el momento de ser tensionados.

Postes de Madera

La utilización de postes de madera es frecuente en proyectos en los cuales se busca disminuir los costos, y la utilización de mano de obra de fácil alcance. Por lo general los postes de madera son muy empleados gracias a su gran resistencia, facilidad de adquisición, pero sus limitaciones están dadas por la corta vida en comparación con los postes de hormigón.

Figura 23. Poste de Madera



Fuente: <http://www.quiminet.com>

Postes de hormigón armado

Este tipo de apoyo por lo general presenta mejores características resistivas que el poste de madera, tiene una larga vida útil y frecuentemente se usa en redes de distribución en zonas urbanas y rurales, siendo un poco limitado en zonas rurales por factores como transporte, por lo cual en requeridas veces se realiza su construcción en el lugar de instalación.

Figura 24. Postes de hormigón armado



Fuente: <http://www.tecnored.cl/productos>.

Conductores

Los cables son elementos fundamentales en los sistemas de transmisión de energía eléctrica, por lo general son hechos de materiales en los cuales la resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores son metálicos, entre esos el cobre, el oro, hierro, aluminio, y sus aleaciones. En cuanto a líneas de transmisión de energía los más empleados son el cobre y el aluminio, siendo el cobre de mayor conductividad, pero en redes de transmisión se emplea el aluminio debido a que es más liviano lo cual facilita las condiciones de instalación.

En el momento de selección de un cable se tienen en cuenta condiciones de operación, tales como potencia transmitida, voltaje, corriente, costos, tensión de instalación y resistividad del material conductor, con lo cual se evalúan las pérdidas de voltaje en las líneas.

Figura 25. Cable de aluminio desnudo ACSR



Fuente: <http://www.cam-la.com/Productos/Colombia/Conductores>

Puestas a tierra.

La toma a tierra es el sistema empleado en las instalaciones eléctricas con tal de prevenir el paso de corriente al usuario en caso tal de que ocurra una falla en los aislamientos de conductores activos.

Frecuentemente las instalaciones eléctricas de baja tensión los sistemas de toma a tierra se realizan enterrando una barra en un suelo de poca resistencia, por lo general la barra es de cobre y el suelo en el cual es enterrada cumple con unas ciertas condiciones de resistividad.

Figura 26. Puesta a tierra



Fuente: <http://www.esacademic.com>

3.5 EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENERGETICO¹⁰

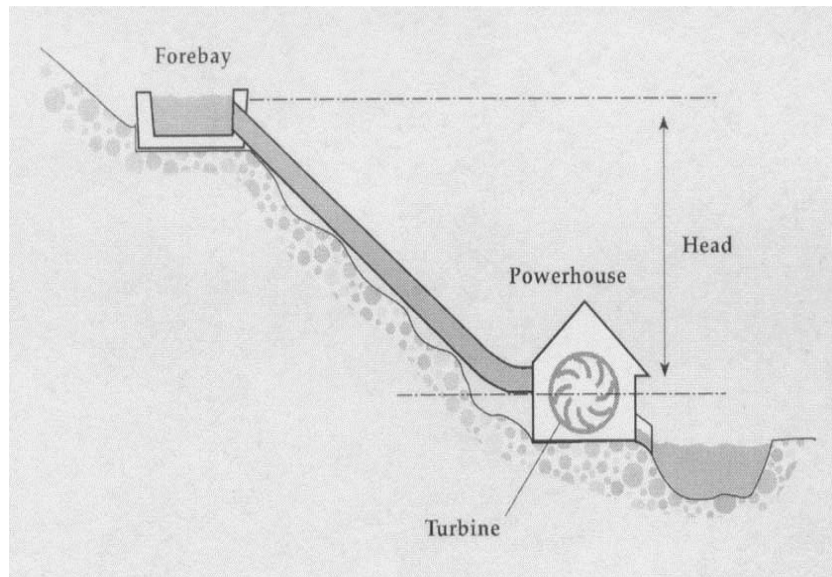
La capacidad de generación de energía, mediante el uso del agua está determinada por el salto o caída que se pueda obtener y del caudal disponible. Realizado un análisis de la demanda energética que se requiere, se debe valorar el recurso hídrico y las condiciones topográficas del lugar a fin de verificar la disponibilidad de recursos naturales para la obra.

¹⁰ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

3.5.1 Medición del salto o altura Bruta

La altura bruta también conocida como altura geométrica, es la diferencia de niveles entre la cámara de carga y la salida del agua en la turbina, esta depende de la topografía del terreno y su medida es determinante en el diseño de la picocentral hidroeléctrica, por lo que es necesaria la utilización de un método que garantice la confiabilidad en los datos.

Figura 27. Altura Bruta



Fuente:<http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm>

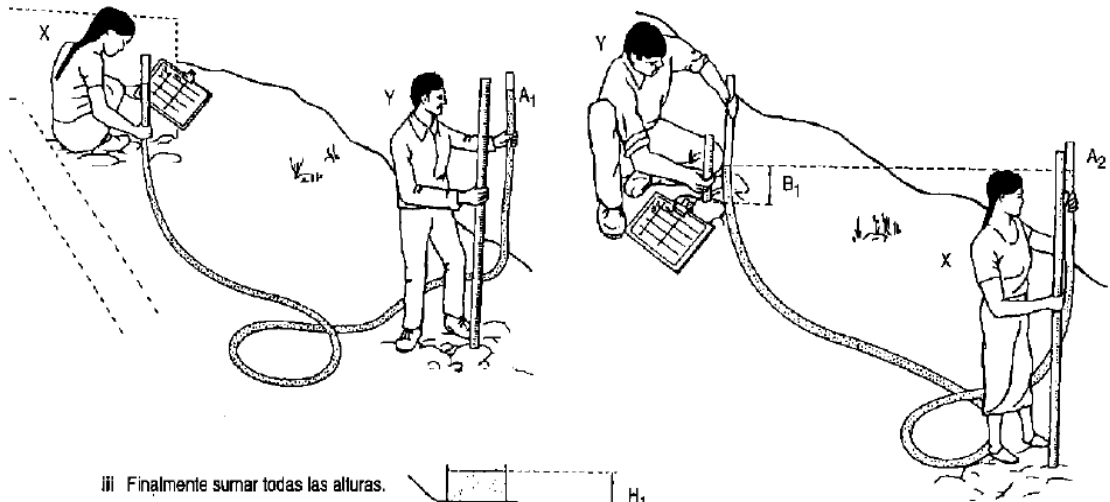
3.5.1.1 Método de la Manguera de Nivelación

Este método consiste en la determinación de niveles a lo largo de la pendiente, se realiza con la participación de dos personas, una que registra las alturas y la otra que mide la elevación desde el suelo al nivel del punto anterior situado en la misma línea horizontal en la que se encuentran sus ojos. Presenta gran precisión y es económico, se recomienda para saltos de poca altura. En la siguiente figura se resume el método.

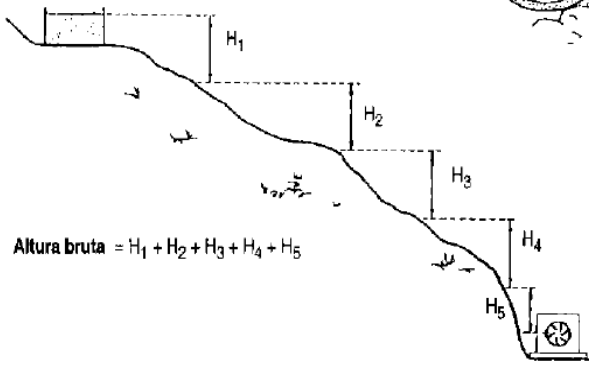
Figura 28. Método de la manguera de nivelación

i La persona "Y" mide la altura A_1 al nivel de agua de la futura cámara de carga.

ii La persona "Y" permanece en su posición y mide B_1 , la persona "X" puede caminar cuesta abajo y medir A_2 .



iii Finalmente sumar todas las alturas.

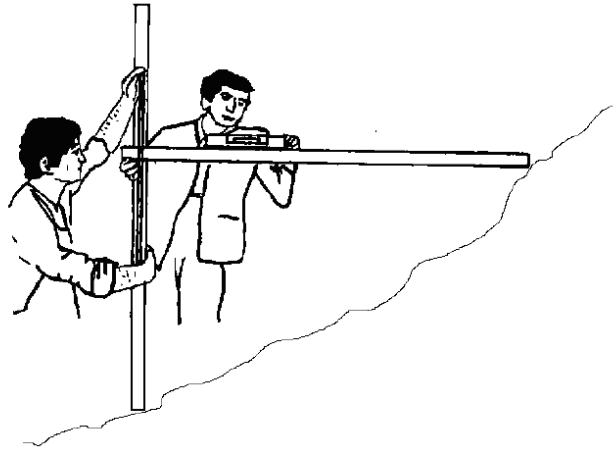


Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG PERÚ

3.5.1.2 Método del nivel carpintero y tablas

El principio de este método es el mismo que el de la manguera de nivelación, solo que en este caso la horizontalidad se determina por medio de un nivel de carpintería en lugar de una manguera con agua, es muy preciso para grandes pendientes, pero tiende a ser demorado y tedioso.

Figura 29. Medición de la altura bruta por el método del nivel Carpintero

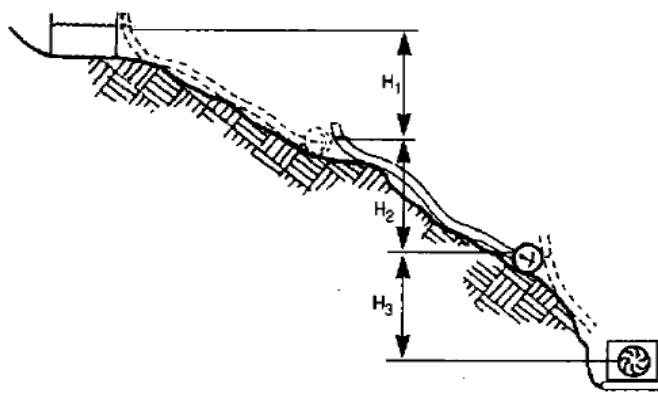


Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG PERÚ

3.5.1.3 Método de la manguera y manómetro

Es la mejor opción entre los métodos simples, consta de una manguera transparente lleva de agua y un manómetro en un extremo, mientras se avanza en la pendiente se registran los valores de la presión leída por el manómetro.

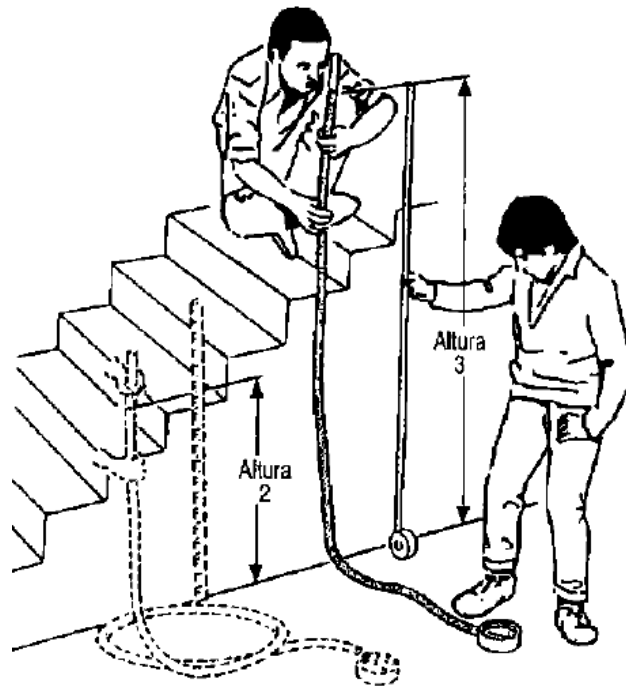
Figura 30. Método de la manguera y manómetro



Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG PERÚ

Sin embargo se debe tener especial cuidado de evitar la presencia de burbujas dentro de la manguera que causa lecturas erróneas, y antes de la medición se debe calibrar el instrumento. Se puede utilizar tanto en pendientes altas como pequeñas.

Figura 31. Calibración del instrumento



Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG PERÚ

3.5.1.4 Método del altímetro y GPS.

El altímetro es un instrumento de medición fácil de usar y su precisión depende de las variaciones atmosféricas, este instrumento mide la presión atmosférica, la cual está directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, aunque presenta ligeras variaciones debido al clima y la humedad relativa, por tanto para obtener un resultado confiable es recomendable realizar varias mediciones durante el día.

GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.

Figura 32. Reloj Casio con Altimetro



Fuente: <http://www.casio-europe.com/es/watch/sports/>

3.5.2 Medición del Caudal

Es de gran importancia contar con la información sobre la hidrología de la fuente a utilizar en una hidroeléctrica, pero este tipo de información solo se tiene para importantes fuentes como ríos y algunas quebradas que por su gran caudal y recorrido generan gran impacto a la sociedad, para este proyecto en particular no se tiene el valor de caudal, por lo que fue necesario realizarle un seguimiento durante un año y ejecutar mediciones periódicamente a fin de conocer el caudal máximo y mínimo y las épocas en que estos se presenta. Lo ideal es hacer mediciones diarias, pero por la disponibilidad y el tiempo que esto tomo se realizaron mediciones semanales.

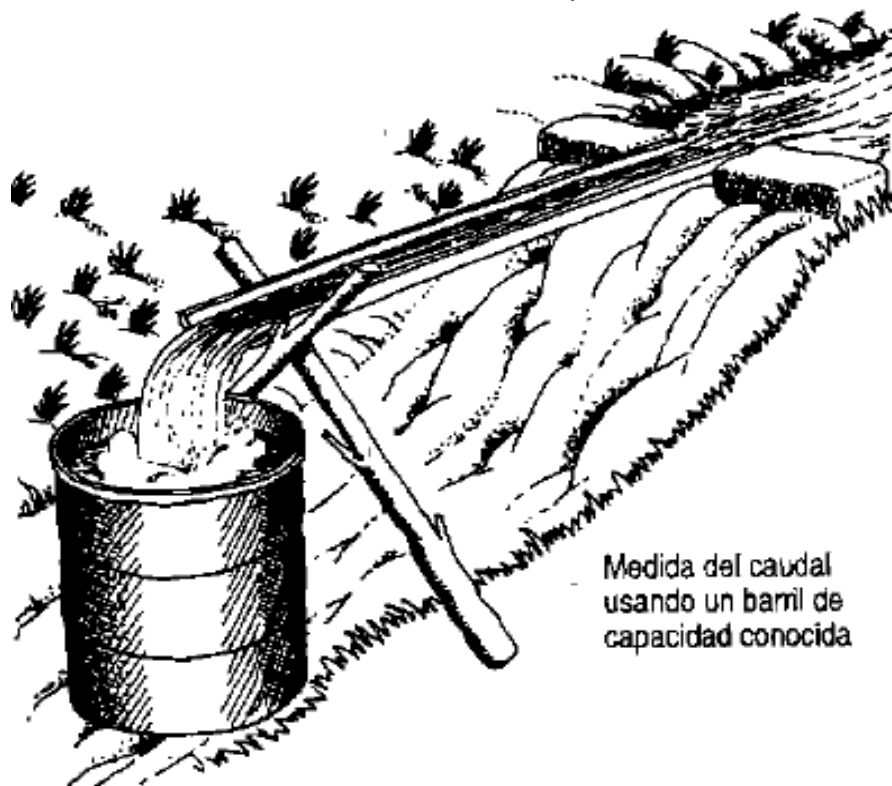
3.5.2.1 Método del recipiente

El método del recipiente es una manera muy práctica y sencilla de medir el caudal. Consiste en derivar el caudal de la fuente por medio de canaletas hacia un tanque con volumen conocido y tomar el tiempo que tarda en llenarse, para esto es necesario canalizar la totalidad del agua hacia el tanque por lo que es menester la construcción de un pequeño embalse provisional.

El caudal instantáneo es el resultado de dividir el volumen del recipiente en el tiempo que tarda en llenarse.

$$Q_{instantaneo} = \frac{Volumen}{Tiempo\ de\ llenado}$$

Figura 33. Medición del caudal método del recipiente



Fuente: http://www.cedecap.org.pe/uploads/.../002_microhidrocentrales.pdf

3.5.2.2 Método del área y la velocidad

Se basa en el principio de continuidad, para un fluido de densidad constante fluyendo a través de un área de sección transversal conocida y determinada su velocidad, es posible obtener el caudal realizando el producto de estos dos valores.

Dado que la velocidad del agua no es constante en toda la sección del río, se trabaja con la velocidad media, determinándose el caudal de la siguiente manera.

$$Q = Area * V_{media}$$

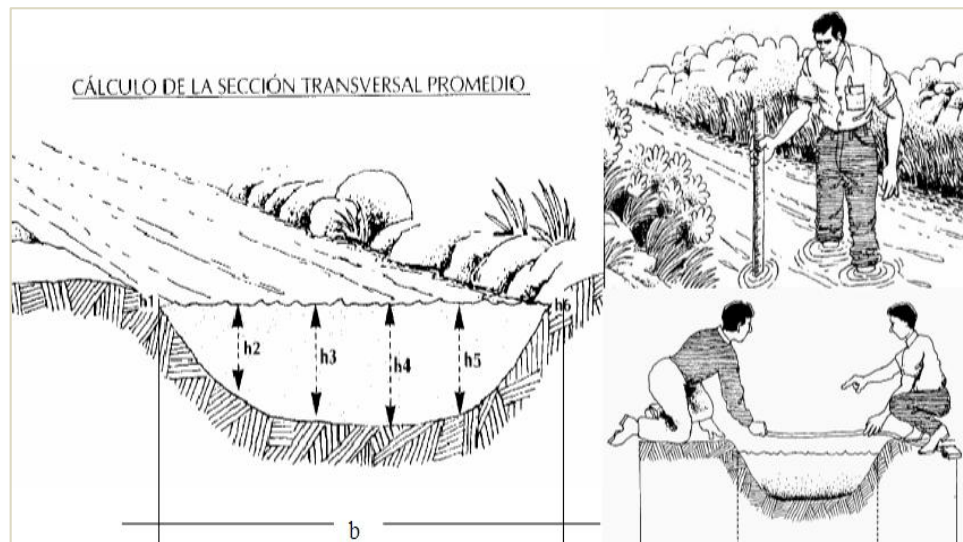
Dónde:

$$Q = \text{Caudal} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$Area$ = Sección transversal del río

V_{media} = Velocidad Promedio del agua en la corriente.

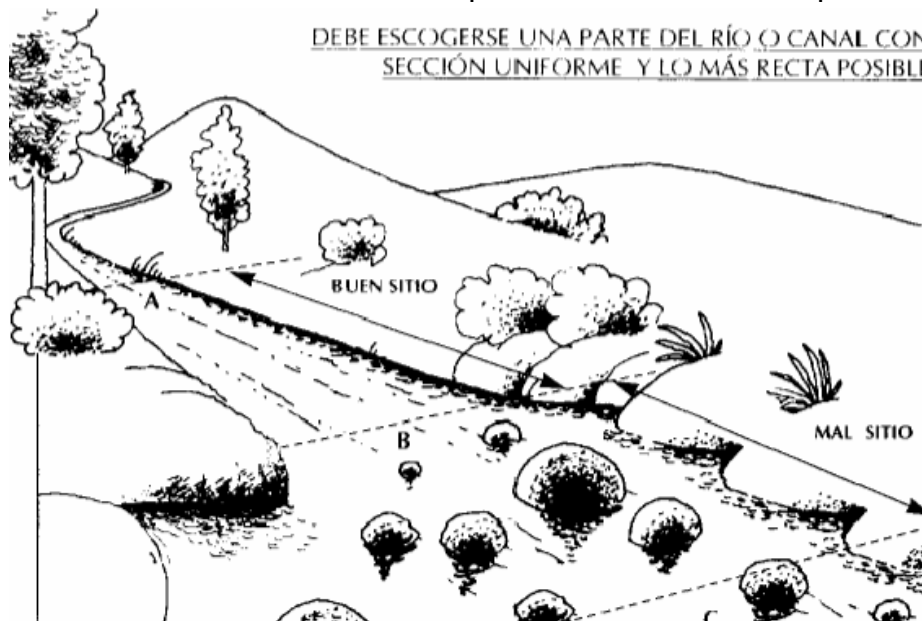
Figura 34. Medición de la sección del cauce



Fuente: <http://dc342.4shared.com/doc/i9q21A6O/preview.html>

Para determinar la velocidad promedio se establece una longitud del río en un tramo recto y se utilizan una serie de flotadores, que se colocan sobre la superficie del agua y se toma el tiempo que demora en recorrer la longitud preestablecida del río. Los resultados son promediados y se obtiene la velocidad superficial del agua. Esta velocidad se multiplica por un factor de corrección que depende de la profundidad de la corriente, este varía entre 0.6 y 0.85. Multiplicando el área de la sección promedio por la velocidad del agua promediada y corregida se obtiene el valor del volumen de agua que fluye. La precisión de este método depende del sitio escogido y de la estimación del área media.

Figura 35. Determinación tramo del río para medir su velocidad por flotador



Fuente: <http://dc342.4shared.com/doc/i9q21A6O/preview.html>

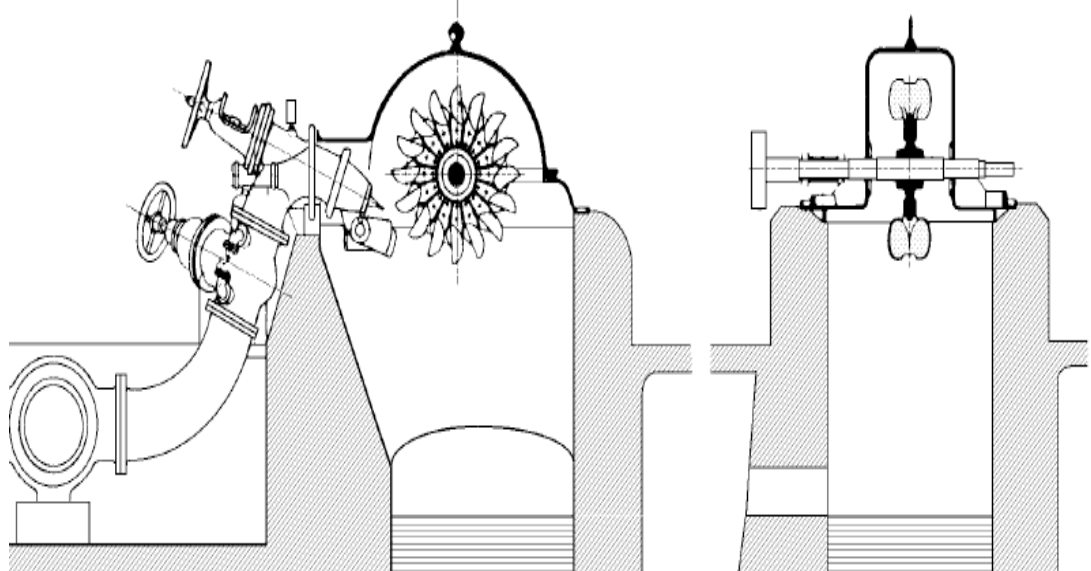
3.5.2.3 Método del Vertedero

El vertedero es una pared dispuesta perpendicularmente a la corriente, con una entalla de sección bien definida a través de la cual se puede hacer pasar el agua. Los vertederos se clasifican según la forma del corte: en V, rectangular y

3.6 TURBINA TIPO PELTON¹¹

Las turbinas Pelton son turbomáquinas motoras de chorro libre que se acomodan a la utilización de saltos de agua con mucho desnivel y caudales relativamente pequeños. Consiste en una rueda dotada de una serie de cucharas especialmente diseñadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre ellas. Esta turbina debe su nombre al Ingeniero Norteamericano Lester Allen Pelton (1829-1908), quien en busca de oro en California concibió la idea de una rueda con cucharas periféricas que aprovecharan la energía cinética del agua y en 1980 patentó su invento.

Figura 36. Esquema de una turbina pelton



Fuente: http://gonzalezpyadira.mex.tl/858690_11--Turbina-Pelton-.html

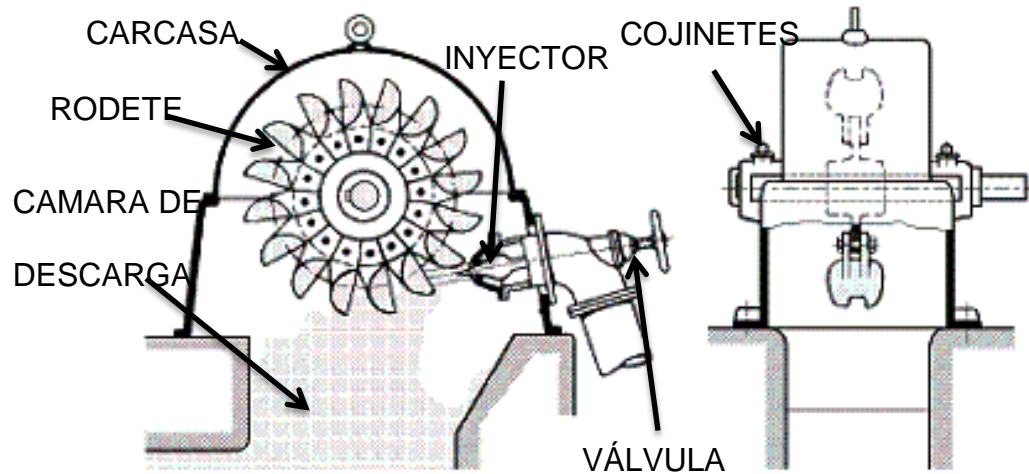
3.6.1 Partes de Una turbina Pelton

Una turbina pelton está compuesta por un equipo móvil y otro estático, el equipo móvil lo componen el Rodete pelton que a su vez incluye las cucharas o cazoletas,

¹¹ MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

el eje y rodamientos o cojinetes que soportan los elementos rodantes. El equipo estático está conformado por la carcasa, el inyector, una válvula de regulación de caudal y la cámara de descarga. En la siguiente figura se señalan sus partes.

Figura 37. Partes de una turbina Pelton



Fuente: Autores

3.6.1.1 El Rodete

El rodete es el componente más importante de una turbina pelton, está compuesto por una rueda y una serie de cucharas estratégicamente espaciadas en su periferia, este órgano es el encargado de transformar la energía del chorro de agua en energía mecánica de rotación. El tamaño y número de cucharas dependen de las características de la instalación y/o de la velocidad específica n_s . Cuanto menor sea el caudal y mayor la altura del salto, menor será el diámetro del chorro. Las dimensiones de la cuchara vienen ligadas directamente por el diámetro del chorro.

Figura 38. Rodete Pelton

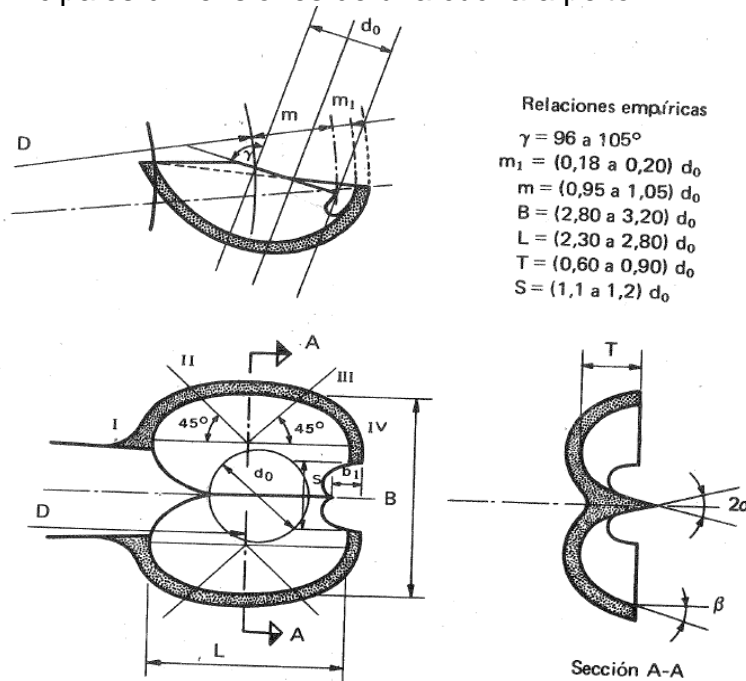


Fuente: http://energialternativaitm.blogspot.com/2010/10/blog-post_29.html

3.6.1.2 La Cuchara

La cuchara pelton está compuesta por dos semielipsoides formando una arista central que divide el chorro en dos partes, generando de esta manera un equilibrio de fuerzas en la dirección axial en los rodamientos.

Figura 39. Principales dimensiones de una cuchara pelton



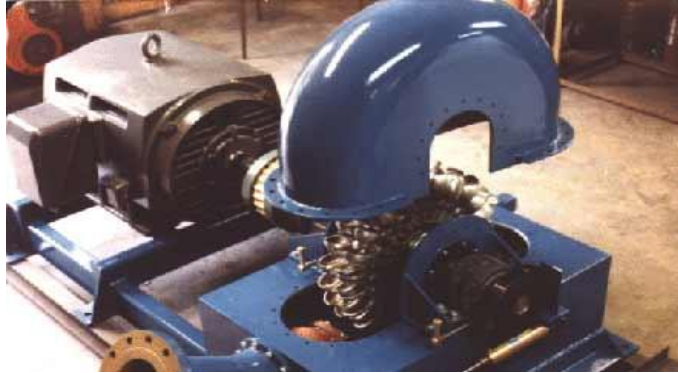
Fuente: MATAIX, C. Mecánica de fluidos y Maquinas Hidráulicas. 2da.ed. Mexico: Editorial del Castillo

Las cucharas pelton se distribuyen en la periferia de una rueda de tal forma que queden espaciadas estratégicamente para encontrar el mayor rendimiento posible. Para poder encontrar el ángulo entre cada cuchara de la turbina Pelton se debe cumplir las siguientes condiciones: debe minimizarse la interferencia entre el chorro y la cuchara. Y todas las partículas de agua deben entregar la mayor parte posible de su energía cinética a la rueda. El aprovechamiento máximo de la energía del agua consiste en verificar que la última partícula de agua que va a incidir sobre cada cuchara pueda deflektarse adecuadamente de modo que abandone la cuchara por su borde de descarga, y asegurar no exista un volumen de agua que pase por la rueda sin incidir sobre alguna cuchara.

3.6.1.3 La Carcasa

La carcasa es la caja o cámara donde se aloja el rodete, su función principal es soportar los componentes de la turbina y no permitir la fuga de agua hacia el medio exterior. Las dimensiones y forma de la carcasa dependen de la orientación del rodete. En una turbina pelton de eje horizontal se construye de manera que quede dividida en dos partes por un plano horizontal para facilitar la revisión del rodete, el ancho de la caja debe ser aproximadamente 4 a 5 veces el ancho de la cuchara. Por la parte superior de la caja el juego entre esta y el rodete es muy pequeño, la dos partes se unen por pernos al igual que la parte inferior de la carcasa al bastidor metálico embebido en cemento. En la turbina pelton de eje vertical el ancho suele ser aproximadamente igual a 2 diámetros del rodete y la parte superior suele estar a una distancia del nivel de los ejes de los chorros de dos a tres anchos de la cuchara.

Figura 40. Carcasa de una turbina pelton



Fuente: <http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-3.1.3.htm>

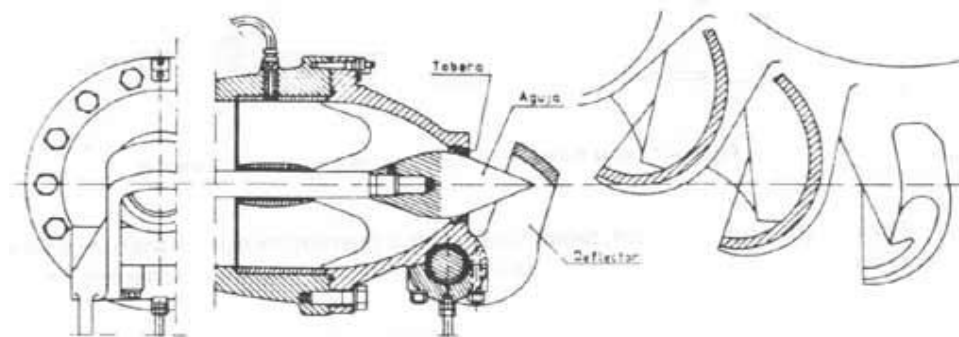
3.6.1.4 El Inyector

Es el elemento mecánico destinado a dirigir y regular el chorro de agua. Está compuesto por:

La Tobera

Se entiende como tal, una boquilla, normalmente con orificio de sección circular de un diámetro determinado por la cantidad de agua y el salto, instalada en la terminación del inyector. Proyecta y dirige, tangencialmente hacia la periferia del rodete, el chorro de agua, de tal modo que la prolongación de éste forma un ángulo prácticamente de 90° con los imaginarios radios de aquel, en los sucesivos puntos de choque o incidencia del agua.

Figura 41. Detalles de una tobera de una turbina pelton



Fuente: <http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-3.1.1.htm>

Aguja

Está formada por un vástago situado concéntricamente en el interior del cuerpo de la tobera, guiado mediante cojinetes sobre los cuales tiene un libre movimiento de desplazamiento longitudinal en dos sentidos. Uno de los extremos del vástago, el orientado hacia el orificio de salida de la tobera, termina en forma esférico-cónica a modo de punzón, el cual regula el caudal de agua que fluye por la misma, de acuerdo con el mayor o menor grado de acercamiento hacia el orificio, llegando a cortar totalmente el paso de agua cuando se produce el asentamiento de dicho punzón sobre el orificio de salida.

Dependiendo del tipo de regulación que se tenga, depende la presencia de este elemento. En el caso de la regulación de la velocidad de la turbina por carga, donde se coloca a trabajar la turbina a carga plena, la necesidad de una válvula de aguja es totalmente nula, pues no es necesario regular la alimentación de la turbina.

El deflector

Tiene como misión desviar, total o parcialmente según proceda, el caudal de agua, impidiendo el embalamiento del rodete al producirse un descenso repentino de la carga. Su intervención, evita variaciones bruscas de presión en la tubería forzada, al permitir una respuesta más lenta de la válvula de aguja, ante fuertes oscilaciones de carga.

Figura 42. Función del deflector

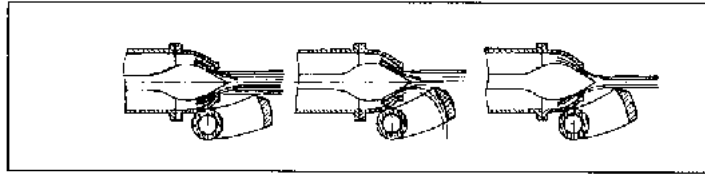


Illustration 12: Function of the jet deflector

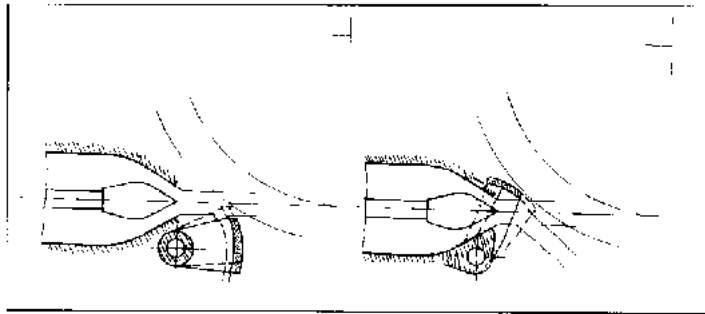


Illustration 13: Scheme of different deflectors

Fuente: F. de Siervo & A. Lugaresi, "Modern trends in selecting and designing Pelton turbines", *Water Power & Dam Construction*, December 1978

3.6.2 Funcionamiento de Una turbina pelton

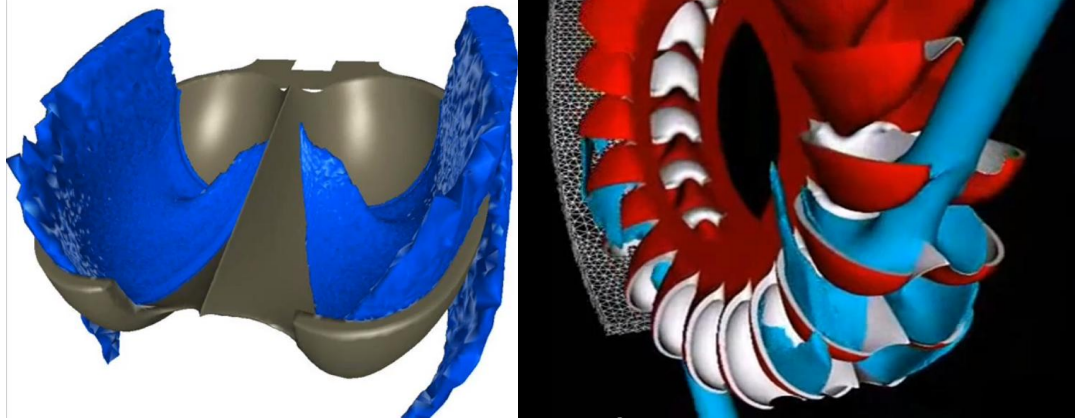
Una vez identificados los elementos componentes de las turbinas Pelton, y conocidas las funciones respectivas, se comprende fácilmente el funcionamiento de las mismas.

La sucesiva transformación de la energía se efectúa del modo siguiente. La energía potencial gravitatoria del agua embalsada, o energía de presión hasta el orificio de la tobera, se convierte en energía cinética, al salir el agua a través de dicho orificio en forma de chorro libre, a una velocidad que corresponde a la altura del salto útil. Se dispone de la máxima energía cinética en el momento en que el agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando a las cucharas que lo forman, obteniéndose el trabajo mecánico deseado.

Las formas cóncavas de las cucharas hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo éste, ya sin energía apreciable, por los bordes laterales, sin

ninguna incidencia posterior sobre las cucharas sucesivas. De este modo, el chorro de agua transmite su energía cinética al rodete, donde queda transformada en energía mecánica.

Figura 43. Funcionamiento de la turbina pelton

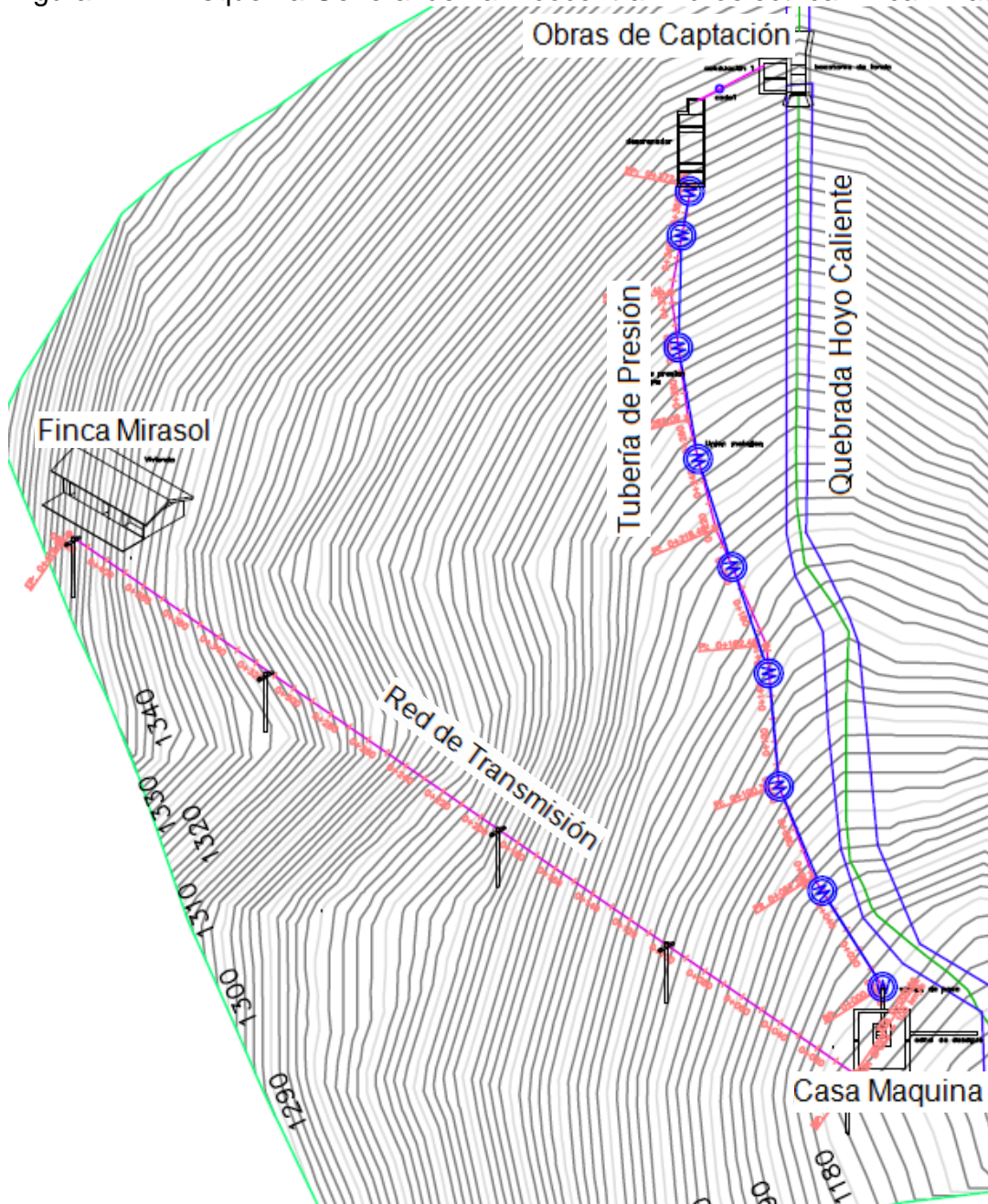


Fuente: http://www.youtube.com/watch?v=oBDYzs_85Eo

4. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO

4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Figura 44. Esquema General de La Picocentral Hidroeléctrica Finca Mirasol



Fuente: Los Autores

La picocentral Hidroeléctrica de la finca Mirasol, Consta de las obras de Captación, que toman el caudal requerido en los nacimientos de la Quebrada Hoyo Caliente, La tubería Forzada que entrega el caudal captado a la turbina ubicada dentro de la casa máquina, el trazo de la tubería se realizará paralelo a la fuente hídrica y se retornara el agua a la misma fuente aguas debajo de la captación después de aprovechada su energía potencial en la turbina.

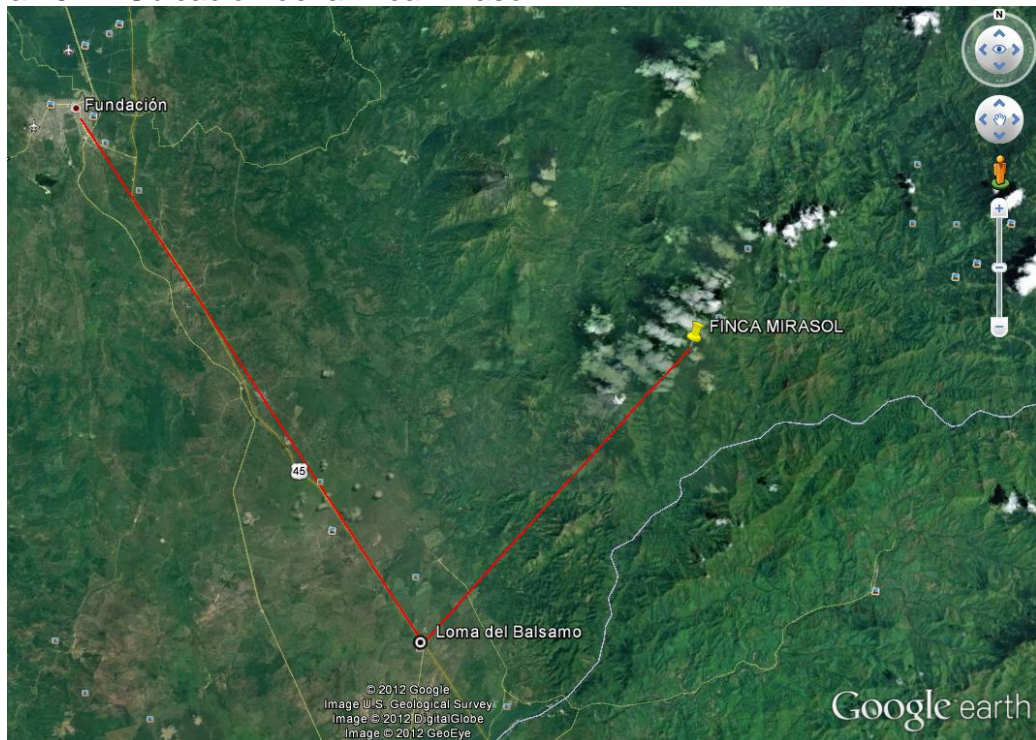
El grupo electromecánico lo componen la turbina pelton, el sistema de transmisión mecánica y el generador eléctrico, que transforman la energía hidráulica en energía eléctrica, seguido se transportará esta por medio de una red de transmisión hacia la finca mirasol, donde se distribuye para su consumo. Cada uno de estos sistemas se detallarán posteriormente.

4.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

En las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la Vereda SACRAMENTO, corregimiento de Fundación Magdalena, ubicada a 1300 msm, con Latitud $10^{\circ}25'15.49''N$ y Longitud $73^{\circ}55'44.27''O$ se encuentra la Finca MIRASOL que al igual que las 193 familias pertenecientes a la zona, tienen como actividad principal la producción de café y a menor escala se cosechan productos de pan coger como el Maíz, Yuca, Naranja, Plátano, Frijol entre otros y paralelo con esto se están implementando otros tipos de actividades económicas como la Ganadería y a la Avicultura, en búsqueda de nuevas alternativas que permitan compensar el desequilibrio que causa el fluctuante mercado del café. Las condiciones climáticas son muy favorables para las actividades agropecuarias, la temperatura promedio de la región se encuentra alrededor de los $24^{\circ}C$ y cuenta con el privilegio de tener abundantes fuentes hídricas que hacen de esta un verdadero paraíso.

La Vereda Sacramento, hace parte del área Rural del Municipio de Fundación Magdalena, limita al NORTE con la Vereda Santa Clara, ORIENTE con la vereda El mirador, Occidente con la Vereda Cristalina y SUR con la vereda Santa Rita. El transporte dentro de la vereda es netamente animal, cuenta con una vía terrestre que la comunica con el municipio de Fundación, y el servicio es prestado por vehículos particulares e informales, que recorren 18,2Km por carretera sin pavimento desde Sacramento hasta el municipio Loma del Bálsamo y 30 Km sobre la troncal del Magdalena próximamente ruta del sol, desde Loma del Bálsamo hasta Fundación.

Figura 45. Ubicación de la finca Mirasol



Fuente: Google earth

4.3 REQUERIMIENTO ENERGÉTICO

La finca mirasol, está proyectándose a la tecnificación agrícola, Como arranque a este programa nace la necesidad de construir su propia fuente de energía, para lo

cual se debe realizar un estudio de la futura demanda energética de la finca y comparar la disponibilidad que se tiene con el consumo máximo que se espera tener al instalar algún equipo que requiera energía eléctrica para su funcionamiento. De manera inmediata se debe suministrar la energía para el consumo doméstico, y se tiene como planes a corto plazo la instalación de un secador de café tipo silo a base de Carbón y se desea hacer el proceso de despulpado del café con motores eléctricos.

La cosecha de café tiene participación anual con un intervalo de tres meses aproximadamente, se inicia la recolección a mediados del mes de Octubre y se prolonga hasta mediados de Enero. En esta época los trabajos crecen al igual que la cantidad de personas laborando en la finca. En el resto de tiempo las actividades se tornan rutinarias y el número de trabajadores es mínimo, generándose características de consumo diferentes en estas dos épocas del año.

Tabla 4. Consumo cuando no hay cosecha de café.

EQUIPOS	Cantidad	Potencia [W]¹² /unidad	Potencia [W]
VIVIENDA			
Lavadora	1	460	460
Nevera	1	600	600
Licadora	1	300	300
Televisor	2	150	300
Video/DVD	2	100	200
Equipo de sonido	1	150	150
Ordenador	1	400	400
Iluminación	20	25	500
TOTAL			2910

Fuente: Autores

La potencia máxima requerida por la finca mirasol en los meses que no hay cosecha es de 2910 W.

¹² ELECTRIFICADORA DEL META S.A. E.S.P.[en Línea].
< <http://www.emsa-esp.com.co/index.php?id=512>> [Citado 10 Febrero 2012]

Como se mencionó anteriormente en esta época las actividades crecen al igual que se el consumo de energía, y las personas adoptan rutinas diferentes, con base a esto se realizó un análisis del consumo máximo en estas fechas, proyectando la implementación de un sacador de café tipo silo para 300Kg/día de café seco, el cual tiene un consumo eléctrico de 746W. También se desea realizar el despulpado de café con motores eléctricos, que accionaran 2 máquinas despulpadoras Jotagallo de 4 chorros, que consumen una potencia eléctrica de 1120W.

Tabla 5. Consumo Energético Finca Mirasol en Cosecha

EQUIPOS	Cantidad	Potencia [W] /unidad	Potencia [W]
VIVIENDA			
Lavadora	1	460	460
Nevera	1	600	600
Licuadaora	1	300	300
Televisión	2	150	300
Video/DVD	2	100	200
Equipo de sonido	1	150	150
Ordenador	1	400	400
Iluminación	20	25	500
PROCESOS			
Secado de café- tipo silo (Carbón) Motor 1HP	1	746	746
Despulpado de café- Jotagallo de 4 chorros y medio 2 motores de 3/4 HP	2	560	1120
TOTAL			4776

Fuente: Autores

La potencia máxima requerida por la finca mirasol en los meses de cosecha es de 4776 W. Por tanto, se debe garantizar la energía eléctrica para todo el año, por tanto la planta debe responder por el consumo máximo en el año, que corresponde a los meses en los cuales la cosecha de café se está recolectando. La potencia máxima de consumo es de **4776 W**.

4.3.1 Estimación del salto y el caudal necesarios

Para la construcción de las obras civiles es necesario que los sitios donde se construyan la casa máquina y las obras de captación posean la amplitud y las condiciones óptimas para facilitar su construcción, además de ser el terreno más pendiente a fin de encontrar mayor altura bruta.

Dada la topografía del terreno, es necesaria la ubicación de los puntos en los cuales se puedan ubicar la casa Máquina y las obras de captación. Realizado un recorrido a lo largo de fuente se encontraron estos puntos. Estos puntos tienen facilidad de acceso y es posible la construcción ya que en su ubicación el terreno es relativamente plano. Realizadas las mediciones del salto entre estos dos puntos se encontró una altura bruta de 110 metros...Ver numeral 4.3.1...

El caudal necesario se estima a partir de la potencia a generar y la altura bruta que se tiene mediante la siguiente ecuación¹³.

$$P_{Util} = \rho_{agua} * g * H_{Bruta} * Q * \eta_{global}$$

Despejando Q se tiene:

$$Q = \frac{P_{Util}}{\rho_{agua} * g * H_{Bruta} * \eta_{global}}$$

Dónde:

¹³ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

$Q = \text{Caudal requerido} \left[\frac{m^3}{s} \right]$

$P_{Util} = \text{Potencia Util. } 5000 [W]$ lo que se requiere

$H_{Bruta} = 110 [metros]$ Altura Bruta.

$\eta_{global} = 0.5$ Eficiencia global. (MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRÁULICAS. Una guía para el desarrollo de proyectos. ITDG PERÚ)

$$Q = \frac{5000}{1000 * 9.81 * 110 * 0.5} = 0.0093 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Redondeando a $0.01 \left[\frac{m^3}{s} \right]$, se define que el caudal de Diseño será.

$$Q_{Diseño} = 10 \left[\frac{litros}{s} \right]$$

4.4 EVALUACIÓN DE LA FUENTE HIDRÁULICA EN LA FINCA MIRASOL

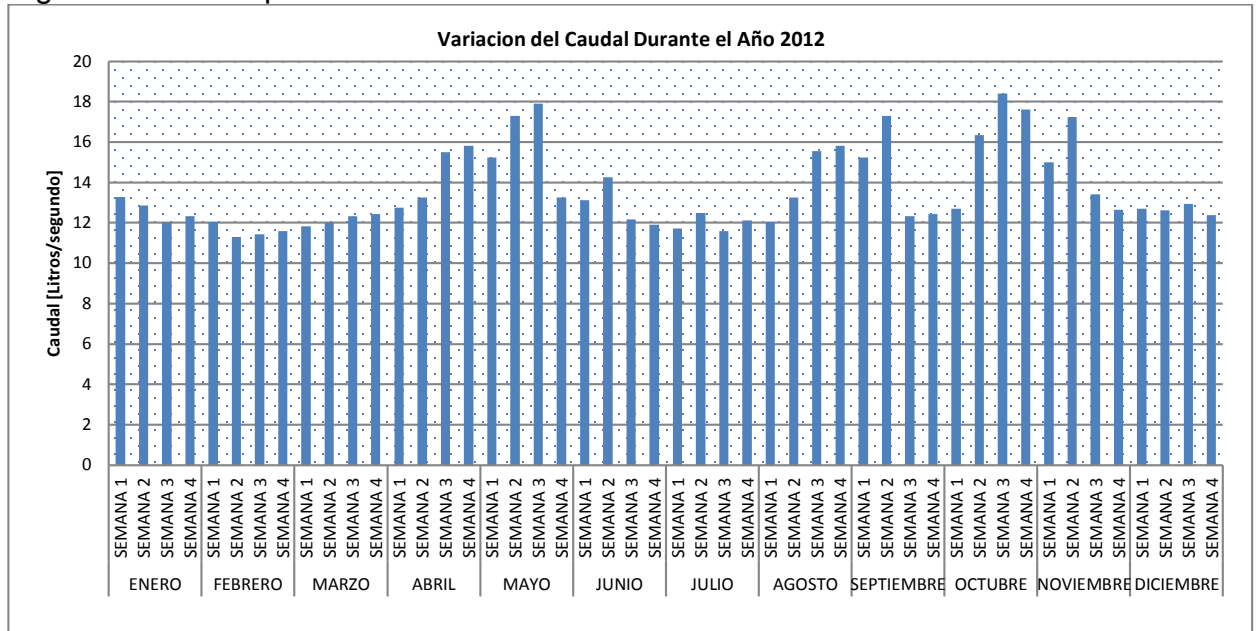
4.4.1 Medición del Caudal

La medición del caudal disponible ofrece una mejor visión del comportamiento de la fuente hídrica, por tanto se procede a realizar los estudios hidrológicos a esta fuente en particular.

Comportamiento de la fuente hídrica

Se realizó un seguimiento a la fuente durante todo el año a fin de caracterizar el comportamiento de esta en cualquier época del año y se obtuvo la siguiente información:

Figura 46. Comportamiento de la fuente



Fuente: Autores

En la Figura anterior es posible notar que en sequia el caudal disponible esta por el orden de 11.5 litros por segundo en la segunda y tercera semana de Febrero y el máximo corresponde a 18,2 litros por segundo en la tercera semana de Octubre. Por tanto la fuente hídrica supe el caudal necesario para este proyecto de manera continua sin necesidad de hacer represamiento.

4.4.2 Medición de la altura bruta

De las técnicas de medición del salto mencionadas anteriormente, se utilizó el método de manguera y manómetro, por ser el más práctico y económico.

Se utilizó una manguera transparente de Diámetro ¼” y 30 metros de longitud y un manómetro instalado en un extremo de esta, se realizó la caracterización del instrumento en las escaleras de un edificio y se encontró que el error en la medida fue del 3%. Durante la medición también se determinó la longitud de tubería necesaria y se resumen los resultados en la tabla 6

Figura 47. Medición del salto finca Mirasol



Fuente Autores

Tabla 6. Medición de la altura Bruta

Medida	Presión [Psi]	Altura [m]	Longitud [m]
1	9,1	6,4	30
2	11,1	7,8	30
3	10,6	7,5	30
4	7,8	5,5	30
5	13,8	9,7	30
6	12,1	8,5	30
7	17,0	12	30
8	11,1	7,8	30
9	11,1	7,8	30
10	18,2	12,8	30
11	20,2	14,2	30
12	20,2	14,2	30
TOTAL	162,1	114,2	360

Fuente: Autores

Con la medición realizada se observa que se tiene una altura geométrica de 114,2 metros, para los cálculos se toma al multiplicar por el error en la medición un valor de 110 metros. En cada medida se contó la longitud de tubería en cada tramo, y

se concluye que se necesitan 360 metros de tubería para conectar la bocatoma con la casa-maquinas.

Verificación de la altura Bruta con GPS

En el mercado se dispone de equipos que ofrecen una localización del dispositivo con una precisión máxima de 1 metros, además contienen sistemas que permiten guardar puntos visitados, crear rutas, realizar mediciones de áreas y entre otras funcionalidades útiles para este tipo de proyectos.

Figura 48. GPS (Garmin Etrex) Utilizado



Fuente: <http://www.garmin.com/en-US/explore/onthego/>

En el presente proyecto se hizo uso del equipo con el fin de corroborar los valores de alturas obtenidos a través del método de la manguera y el manómetro.

Tabla 7. Valores de alturas medidas con el GPS

Puntos de medición	Altura medida sobre el nivel del mar	Precisión
Bocatoma	1275 m	± 3 metros
Casa maquinas	1157 m	± 3 metros
Vivienda	1337 m	± 2 metros

Fuente: Autores

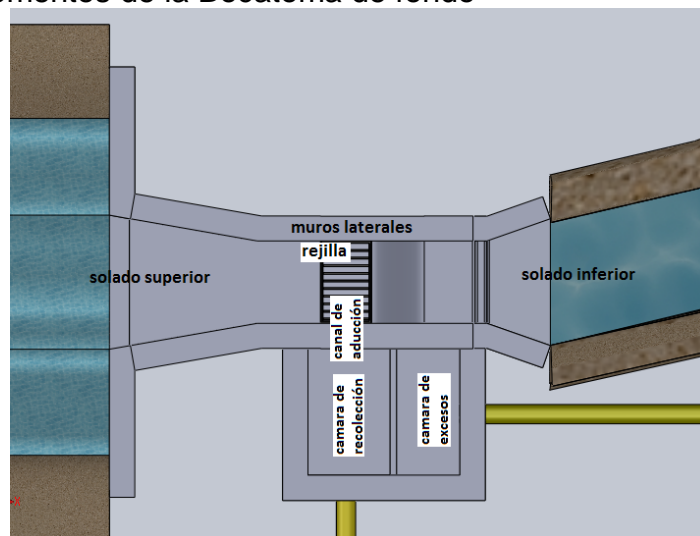
4.5 TIPO DE OBRA DE CAPTACIÓN A REALIZAR

En el presente proyecto se cuenta con un río de poco caudal y de cauce poco profundo, y además la topografía del sitio es montañosa, para lo cual se considera que la bocatoma de fondo es la adecuada bajo esta condición. Los requerimientos de agua para la turbina, no se componen simplemente de la cantidad necesaria, sino que exige el suministro de agua con la menor cantidad de partículas que fomenten la erosión en la máquina, para lo cual se implementara un desarenador que garantice las condiciones del agua entregada a la máquina.

4.5.1 Componentes de una Bocatoma de fondo ¹⁴

En una bocatoma de fondo el agua es captada por medio de una rejilla colocada en la parte superior de una presa y a su vez es direccionada en sentido normal a la corriente del río. Una bocatoma de fondo como la nombrada se compone de:

Figura 49. Elementos de la Bocatoma de fondo



Fuente: Autores

4.5.1.1 Presa

¹⁴ LOPEZ, Ricardo A. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2ª. Ed. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2011. 546 p.

Es una estructura frecuentemente construida en concreto ciclópea, dentro de la cual está el canal de aducción. Se caracteriza por tener a su parte alta al nivel del fondo del río.

4.5.1.2 Solados o Enrocado superior e inferior

Se localizan aguas arribas y abajo de la presa, protegiéndola de la erosión.

4.5.1.3 Muros laterales

Estas estructuras encauzan el agua y protegen los taludes, su espesor depende de la estabilidad estructural. En el presente proyecto los muros se ven apoyados por un enrocamiento natural, con el cual se pretende reforzar los soportes estructurales de los muros de contención.

4.5.1.4 Rejilla

Se ubica en la parte superior de la presa, sobre el canal de aducción, su longitud y la del canal de aducción pueden ser menores que el ancho de la presa, todo depende del caudal a captar y la probabilidad de tener residuos de gran tamaño como hojas que alcancen a obstruir el paso del agua por la misma.

4.5.1.5 Canal de aducción

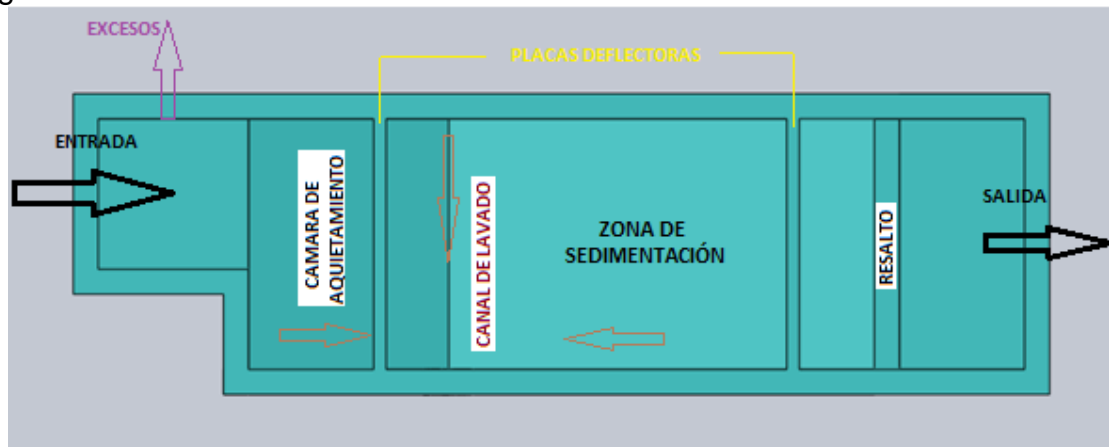
Su objetivo es recibir el agua captada a través de la rejilla y conducirla a la cámara de recolección, se recomienda una pendiente entre 1% y el 4% por consideraciones de velocidad del agua en las mismas y para sus posteriores labores de mantenimiento.

4.5.1.6 Cámara de Recolección

Como su nombre lo indica recolecta el caudal captado, su forma por lo general es cuadrada o rectangular y cuenta con un vertedero de excesos en casos de que el caudal sobrepase su valor de diseño.

4.5.2 Componentes de un desarenador

Figura 50. Partes del desarenador



Fuente: Autores

Un desarenador se divide en varias zonas las cuales son:

4.5.2.1 Cámara de quietamiento

En esta cámara se disipa el exceso de energía de velocidad en la tubería de llegada a través de la ampliación de la sección.

4.5.2.2 Entrada al desarenador

Su objetivo es sedimentar los materiales más gruesos inicialmente, con la ayuda de una pantalla de entrada que dirige las líneas de flujo hacia el fondo.

4.5.2.3 Zona de sedimentación

En esta zona se sedimenta todas las partículas restantes de la cámara anterior

4.5.2.4 Salida del Desarenador

Esta zona evita la contaminación con el exterior y dirige las líneas de flujo al vertedero de salida.

4.5.2.5 Almacenamiento de lodos

Abarca el volumen entre la cota de profundidad útil de la cámara de sedimentación y el fondo del tanque, donde se almacenan los materiales de sedimentación.

4.6 CONDICIONES PRELIMINARES PARA LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Entre los materiales más utilizados en picocentrales y disponibles en el mercado tenemos tuberías de Poli cloruro de vinilo (PVC) y el polietileno de alta densidad. Se realizó el análisis Hidráulico y económico a fin de escoger uno de estos materiales.

Tabla 8. Comparación tuberías PVC y PEHD

COMPARATIVO TIPOS DE TUBERIA									
	Diámetro Nominal	DR Relación Diámetro- espesor	Hf	%Perdida (Hf/L)*100	Rating de Presión	Sobrepresión Pop+ Pariete [psi]	Pmax Admisible [psi]	Vida Útil años	Instalación (Ajustable a terreno)
PVC	3 in	26	14.56	4.04	160	210	238	50	poco Ajustable
PEHD	3 in	13.6	20.3	5.5	160	220	238	50	Ajustable

Fuente: Autores

Tabla 9. Comparación de costos tubería PVC y PEHD

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA TUBERÍA								
	DIAMETRO	TUBOS	VALOR TUBO	PRECIO TOTAL TUBERÍA	PRECIO ACCESORIOS	COSTO INSTALACION	PRECIO SOPORTERÍA	COSTO TOTAL
PVC	3 in	60X6 metros	\$ 139.273,00	\$ 8.356.380,00	\$ 1.167.208,00	\$ 200.000,00	\$360.000,00	\$ 10.083.588,00
PEHD	3 in	7X50 metros	\$ 601.808,00	\$ 4.212.656,00	\$ 96.000,00	\$ 200.000,00	\$ 50.000,00	\$ 4.558.656,00

Fuente: Autores

Se determinó que el PE representa mejor opción.

4.6.1 Selección del diámetro interno de la tubería de presión

Determinar el diámetro de la tubería es un problema económico que depende de dos factores: la velocidad del agua y las pérdidas de carga. El manual de pequeñas centrales Hidroeléctricas emitido por OLADE¹⁵, recomienda que para un diseño preliminar se puede estimar el diámetro de la tubería mediante la siguiente formula:

$$D_{Tpi} = \sqrt[7]{0.0052Q^3}$$

Dónde:

D_{Tpi} : Diámetro preliminar de la tubería [m]

Q: Caudal [m³/s]

¹⁵ II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4.

Remplazando el caudal de diseño se tiene:

$$D_{Tpi} = \sqrt[7]{0.00520.01^3} = 0.06555 [m] = 2.58 [in]$$

Normalizando se tiene una tubería de Diámetro nominal 3 [in]

4.6.2 Estimación del rating de la tubería de presión

En primera medida se encontrara la presión estática que soportará el extremo más bajo de la tubería, dado a que tenemos una Altura bruta de 110 metros, se calcula:

$$P_{Estatica} = \rho_{agua} * g * H_{Bruta} = 997 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 110[m] = 1075.86[kpa]$$

$$P_{Estatica} = 156 [psi]$$

Las Normas AWWA C901-08¹⁶ y ASTM F714 establecen la siguiente relación para el cálculo de la presión de trabajo para Tubería de polietileno.

$$PR = \frac{2 * HDS * F_T * A_F}{DR - 1}$$

Dónde:

PR = Rating de la tubería [psi]

HDS= Esfuerzo Hidrostático de Diseño [psi] Ver Tabla 8

A_F = Factor Ambiental. Ver Tabla 9

F_T = Factor de diseño por temperatura. Ver tabla 8

¹⁶ THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p

Tabla 10. Esfuerzo Hidrostático de Diseño
Hydrostatic Design Stress and Service Temperatures

Property	Standard	PE 2606, PE2706	PE 2708, PE 3608, PE 3708, PE 4608	PE 3710, PE 4710
Hydrostatic Design Stress, HDS at 73°F (23°C)	ASTM D2837 & PPI TR-3	630 psi (4.6 MPa)	800 psi (5.5 MPa)	1000 psi (6.9 MPa)
Maximum recommended operating temperature for Pressure Service*	-	140°F (60°C)	140°F (60°C)	140°F (60°C)
Maximum recommended operating temperature for Non-Pressure Service	-	180°F (82°C)	180°F (82°C)	180°F (82°C)

* Some PE piping materials are stress rated at temperatures as high as 180°F. For more information regarding these materials and their use, the reader is referred to PPI, TR-4.

Fuente: AWWA C901-08 Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, ½ In. (13 mm) Through 3 In. (76 mm) for Water Service.

Tabla 11. Factor Ambiental
PE Pipe Environmental Application Factors (A_F)*

Pipe Environment	Environmental Application Factor (A _F) at 73°F (23°C)
Water: Aqueous solutions of salts, acids and bases; Sewage; Wastewater; Alcohols; Glycols (anti-freeze solutions)	1.0
Nitrogen; Carbon dioxide; Methane; Hydrogen sulfide; Non-Federally regulated applications involving dry natural gas or other non-reactive gases	1.0
Fluids such as solvating/permeating chemicals in pipe or soil (typically hydrocarbons) in 2% or greater concentration, natural or other fuel-gas liquids condensates, crude oil, fuel oil, gasoline, diesel, kerosene, hydrocarbon fuels, wet gas gathering, multiphase oilfield fluids, LVP liquid hydrocarbons, oilfield water containing >2% hydrocarbons.	0.5

* Certain codes and standards include prohibitions and/or strength reduction factors relating to the presence of certain constituents in the fluid being transported. In a code controlled application the designer must ensure compliance with all code requirements.

Fuente: AWWA C901-08 Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, ½ In. (13 mm) Through 3 In. (76 mm) for Water Service

4.6.2 Relación Diámetro Espesor

$$DR = \frac{D_o}{t}$$

Remplazando el valor de la presión estática, el esfuerzo Hidrostático de diseño para PE4710 según normas ASTM (PE100 según la ISO), que es el tipo de

material que EXTRUCOL fabrica las tuberías para agua. Se estimara la relación diámetro espesor para esta aplicación.

$$DR = \frac{2 * HDS * F_T * A_F}{P_{Estatica}} + 1 = \frac{2 * 1000 * 1 * 1}{156} + 1 = 13,82$$

Normalizando, se toma el DR inferior.

$$DR = 13,6$$

Recalculando se Obtiene un Rating preliminar de la tubería.

$$PR_{preliminar} = \frac{2 * 1000 * 1 * 1}{13.6 - 1} = 158.73 [psi]$$

4.7 DEFINICIÓN DE PROCESOS DE FABRICACIÓN¹⁷

Los procesos de fabricación de maquinarias están definidos por características de tipo dimensionales en las maquinas, material de fabricación, tolerancias del diseño, tiempo de fabricación, costos, y garantía del modelo a fabricar.

Cuando se trabaja con turbina por lo general su proceso de fabricación es la fundición, ya que este brinda las tolerancias dimensionales necesarias de fabricación, costos, tiempo y garantías del diseño requerido. Es evidente que la fabricación de una turbina en detalle no recurre simplemente a la fundición, este proceso se alimenta de otros procesos de fabricación de máquinas como el maquinado, el cual permite definir aristas, superficies, puntos de sujeción y entre otros requerimientos que exige la fabricación de una turbina.

¹⁷ GROOVER, Mikel P. Fundamentos de manufactura moderna. Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2007.

4.7.1 Fundición

Proceso de fabricación de piezas por lo general metálicas, en el cual se vierte un material fundido en una cavidad denominada molde, donde se espera que se solidifique tomando las características dimensionales del molde. El proceso más común de este tipo es la fundición en arena, a través del cual se funden aleaciones de hierro, acero, bronce, latón y otros.

Figura 51. Fundición en arena



Fuente: <http://www.alfaarte.com>

Determinación del material para fabricar la turbina pelton

En las grandes aplicaciones los rodets pelton se fabrican en aceros aleados que le proporcionan una extraordinaria resistencia a la cavitación y erosión, el grado de aleación depende de que tan críticas sean las condiciones abrasivas de la aplicación. Sin embargo para picocentrales hidroeléctricas resultaría muy costosa la fabricación este tipo de material, por lo que se recurre al uso de los materiales comúnmente utilizados en la fabricación de las turbinas de pequeña potencia. Entre los que se encuentran el Aluminio, el Bronce y el Hierro fundido. Los criterios utilizados para la elección del material son el costo, maquinabilidad, durabilidad, Resistencia a la erosión y corrosión, disponibilidad y vida útil.

Entre los materiales descritos anteriormente se toma el hierro gris dado su bajo costo, maquinabilidad y resistencia a la erosión. Además su peso le da estabilidad a la maquina en presencia fluctuaciones en el generador. La carcasa y el inyector también se fundirán en hierro gris dado a su excelente comportamiento ante ambientes vibratorios, usualmente el hierro gris se utiliza en carcasas para motores y maquinaria agrícola expuesta a altas vibraciones.

4.7.2 Maquinado

El maquinado lo conforman múltiples operaciones para la fabricación de piezas por medio de la eliminación de material, ya sea que esta eliminación se realizase por arranque de viruta o por abrasión.

Los mecanizados se realizaran con máquinas de herramientas, entre las cuales tenemos: taladro, limadora, cepilladora, mortajadora, torno, fresadora y entre otros, con el fin de darle los ajustes necesarios a cada pieza.

Cuando una pieza sale de fundición en muy frecuente realizarle procesos de mecanizados con tal de obtener las dimensiones y superficies deseadas.

Figura 52. Mecanizado de piezas



Fuente: <http://www.myrisa.com/maquinados.html>

4.8 TRÁMITES LEGALES DEL PROYECTO¹⁸

En los proyectos en los cuales su ejecución propone la implicación o uso de un recurso natural público, como en el caso de una hidroeléctrica se debe contar con la disposición de los siguientes tramites de normatividades y condiciones del funcionamiento del proyecto.

En el caso en el cual se instalará una picocentral hidroeléctrica en la finca mirasol en Sacramento corregimiento de Fundación Magdalena, el uso de los recursos hídricos está regido por las disposiciones impuestas por la entidad CORPAMAG (Corporación Autónoma Regional del Magdalena). La cual dispone de ciertos decretos en cuanto al uso de los recursos hídricos en la región.

4.8.1 Normatividad Ambiental

Para el uso de los recursos hídricos se debe disponer del cumplimiento de una serie artículos descritos en el DECRETO 1541 de 1978, en el cual se reglamentan las disposiciones descritas en la parte III del libro II del DECRETO de ley 2811 de 1974 “de las aguas no marítimas”.

4.8.2 Dominio de las aguas

Las aguas se dividen en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado. Para efectos de interpretación, cuando se hable de aguas, sin otra calificación, se deberá entender las de uso público.

Son aguas de uso público:

- Los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no.

¹⁸ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA. [en línea]
< <http://www.corpamag.gov.co/index.php/es/informacion-ambiental/aguas>> [Citado 10 de febrero 2012]

- Las aguas que corran por cauces artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural.
- Los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos.
- Las aguas que están en la atmósfera.
- Las corrientes y depósitos de aguas subterráneas.
- Las aguas lluvias.
- Las aguas privadas que no sean usadas por tres (3) años consecutivos

4.7.3 Modos de adquirir derecho al uso de las aguas

El derecho al uso de las aguas y de los cauces se adquiere de conformidad con el artículo 51 del Decreto_Ley 2811 de 1974.

4.8.3.1 Por ministerio de la ley

Todos los habitantes pueden utilizar las aguas de uso público mientras discurren por cauces naturales, para beber, bañarse, abrevar animales, lavar ropas y cualesquiera otros objetos similares de acuerdo con las normas sanitarias sobre la materia y con las de protección de los recursos naturales renovables.

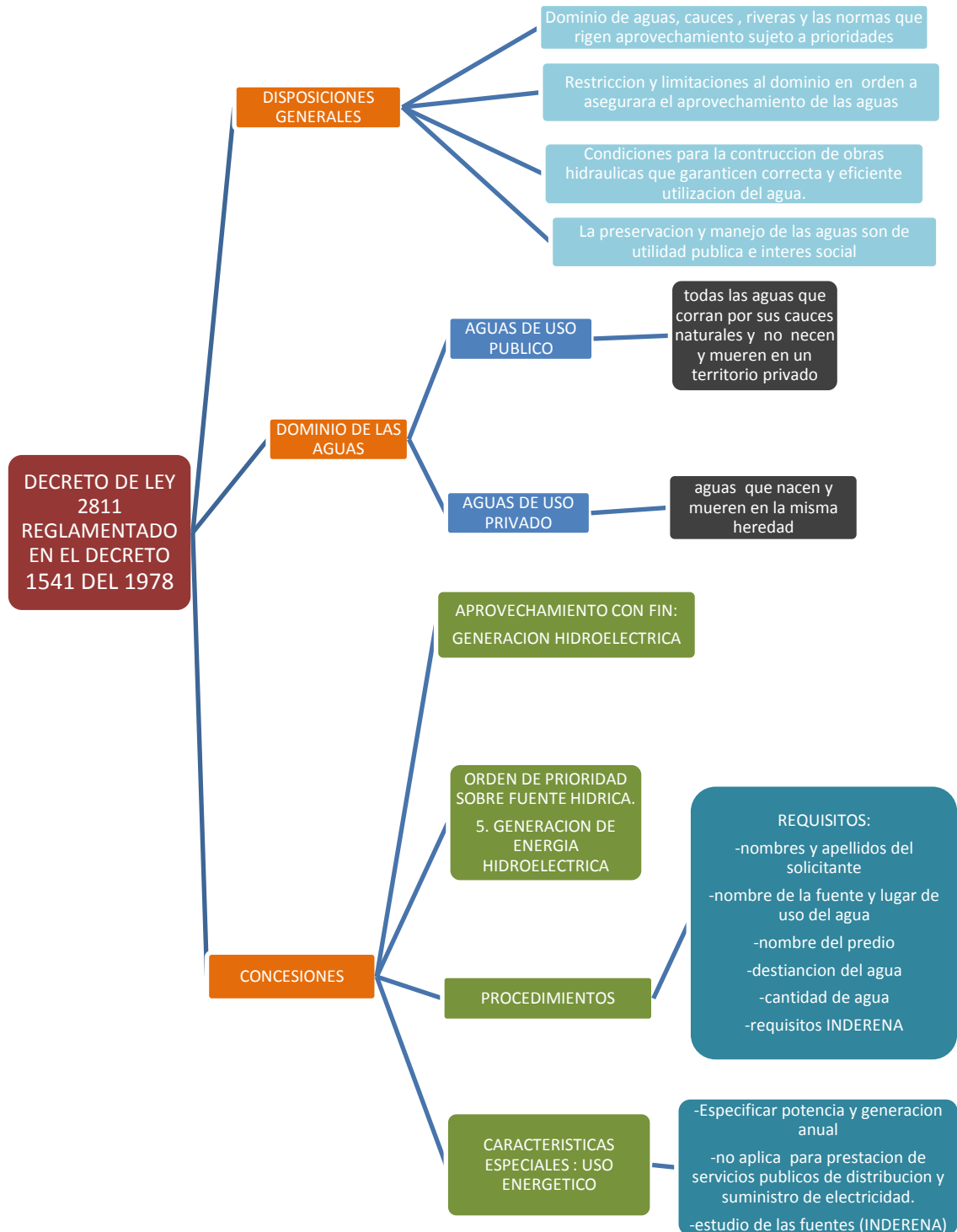
4.8.3.2 Concesiones

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, requiere concesión para obtener el derecho al aprovechamiento de las aguas para los siguientes fines: Abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación; Riego y silvicultura; Abastecimiento de abrevaderos cuando se requiera derivación; Uso industrial; Generación térmica o nuclear de electricidad; Explotación minera y tratamiento de minerales; Explotación petrolera; Inyección para generación

geotérmica; Generación hidroeléctrica; Generación cinética directa; Flotación de maderas; Transporte de minerales y sustancias tóxicas; Acuicultura y pesca; Recreación y deportes; Usos medicinales.

Para la obtención de los permisos se deben seguir los procesos para los trámites legales de la concesión de agua se describen en el siguiente diagrama. Con lo cual se realiza el registro de la concesión de la fuente diligenciando el formato que otorga la corporación de vigilancia...Véase el Anexo D...

Figura 53. Proceso para adquirir derechos sobre el agua



Fuente Autores

5. DISEÑO DE LA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA

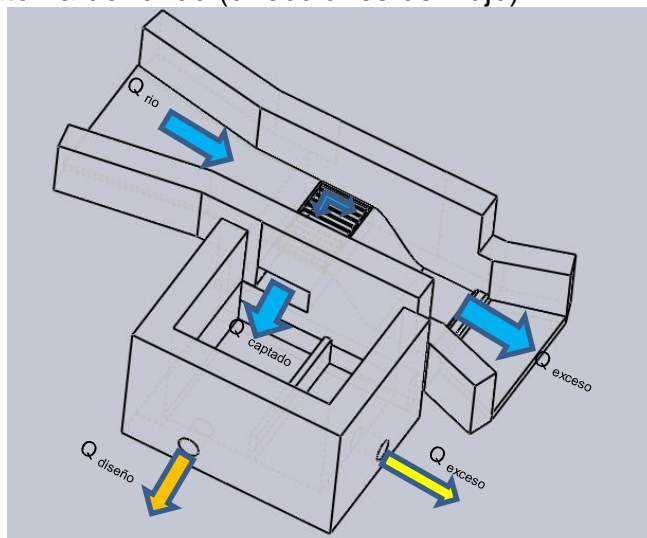
El diseño de la picocentral hidroeléctrica parte de las necesidades energéticas que presente la finca mirasol, en el diseño preliminar se determinó las condiciones iniciales de caudal y altura geométrica necesarias para suplir estas necesidades. Este diseño se inicia con el dimensionamiento de las obras de captación y el desarenador. Se realizará el diseño hidráulico y mecánico de la tubería y de la turbina pelton, se seleccionará el generador, rodamientos y sistema de transmisión mecánica. Se diseñaran el sistema de regulación por carga y el encendido y apagado desde el lugar de consumo. Se dimensionara la casa máquina y por último se realizaran los cálculos correspondientes al diseño eléctrico y mecánico de la red de transmisión.

5.1 DISEÑO OBRAS DE CAPTACIÓN

5.1.1 Diseño de bocatoma de fondo

5.1.1.1 Diseño de presa

Figura 54. Bocatoma de fondo (direcciones del flujo)



Fuente: Autores.

Este tipo de estructuras se diseñan en base del caudal promedio diario del rio en épocas de invierno

$$Q_{\text{Prom}_{\text{diario}}} = 0.014 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$L = \text{Ancho del rio en invierno} = 65 \text{ cm}$$

$$Y_p = \text{profundidad a nivel de solado superior} = 30 \text{ cm}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

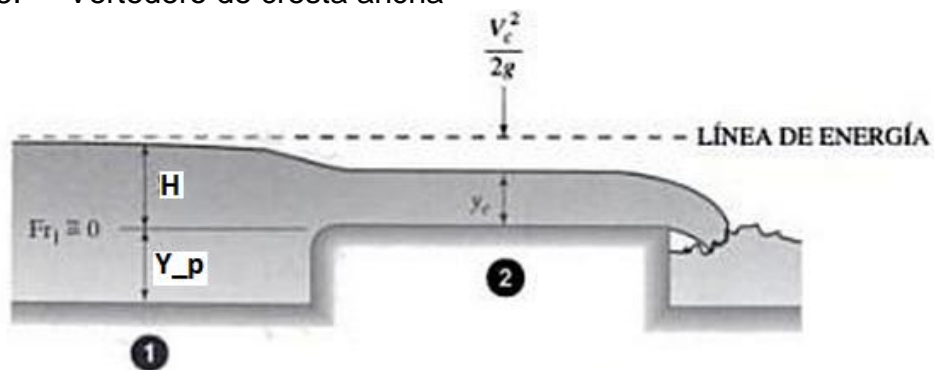
La presa y la garganta se diseñan como vertedero rectangular de doble contracción cuya ecuación sería¹⁹:

$$Q_{\text{Prom}_{\text{diario}}} = K \times L_{\text{corregida}} \times H^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$K = \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times g} \times C_d$$

C_d = coeficiente de descargas para vertederos rectangulares.

Figura 55. Vertedero de cresta ancha



Fuente: Manual de hidráulica Acevedo Netto 8ª Ed

¹⁹ LOPEZ, Ricardo A. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2ª. Ed. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2011. 546 p.

$$C_d = 0.61 + 0,08 \times \frac{H}{Y_p};$$

$Q_{\text{Prom}_{\text{diario}}} = \text{Caudal promedio diario en invierno (m}^3\text{/seg)}$

$H = \text{profundidad de lámina de agua sobre la presa (m)}$.

$L = \text{longitud de vertimiento (m)}$.

Debido a la existencia de contracciones laterales se debe hacer corrección de la longitud de vertimiento.

$$L_{\text{corregida}} = L - 0.1 * n * H$$

En donde $n = \text{número de contracciones que para este caso sería 2}$.

Teniendo todos los parámetros en términos de H ; resolvemos:

$$Q_{\text{Prom}_{\text{diario}}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times g} \times C_d \times L_{\text{corregida}} \times H^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$Q_{\text{Prom}_{\text{diario}}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times 9.81} \times \left(0.61 + 0,08 \times \frac{H}{0.3}\right) \times (0.65 - 0.1 * 2 * H) \times H^{\left(\frac{3}{2}\right)}$$

$$H = 0.052 \text{ m}$$

La velocidad del agua al pasar por la rejilla sería de:

$$V_r = \frac{Q}{L_{\text{corregida}} * H}$$

Esta velocidad debe estar comprendida entre 0,3 m/seg y 3 m/seg.

Resultados:

$$L_{\text{corregida}} = 0.639 \text{ m}$$

$$V_r = 0.40 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

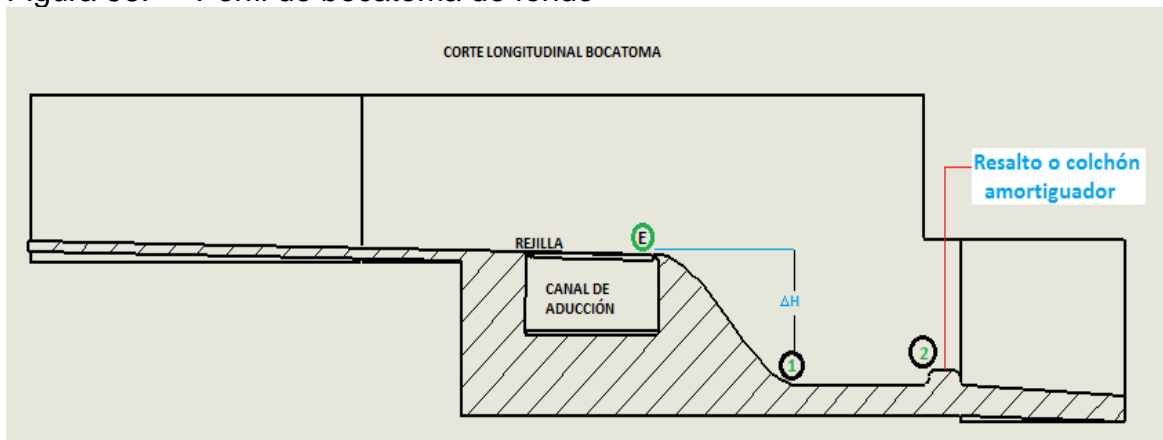
Uno de los principales problemas que presentan las bocatoma es la erosión, el cual se previene conservando velocidades bajas en el paso del agua por la presa y guiándola por perfiles de amortiguación de la energía, como lo es el perfil de Creager.

Para el perfil de creager se toman las coordenadas correspondientes a este perfil y se multiplican por un factor de carga energética.

Con un valor de altura de lámina de agua de $H_{\text{aguainvierno}} = 0.054 \text{ m}$, y velocidad de 0.52 m/seg , en condiciones de caudal máximo.

Calculamos la carga energética.

Figura 56. Perfil de bocatoma de fondo



Fuente: Autores

$$h_e = h + \frac{V^2}{2 * g} = 0.059 \text{ m}$$

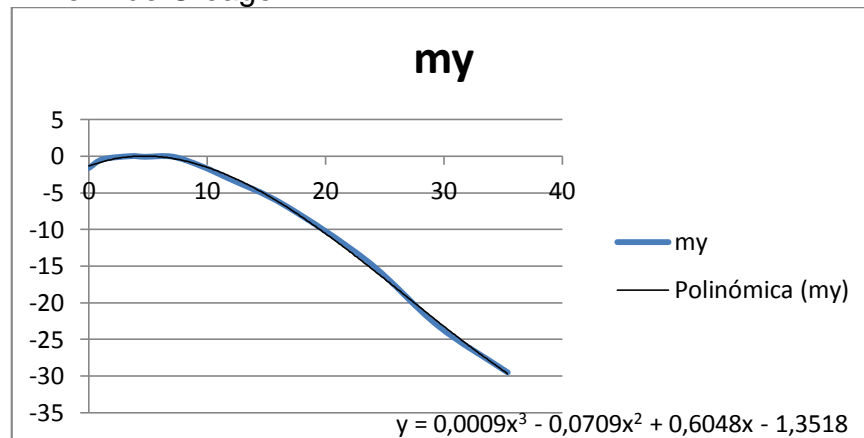
Tabla 12. Coordenadas del perfil de Creager²⁰

Coordenadas Creager		Coordenadas modificadas (cm)	
x	y	mx	my
0	-0,136	0	-1,6048
0,1	-0,036	1,18	-0,4248
0,3	0	3,54	0
0,4	-0,007	4,72	-0,0826
0,6	-0,006	7,08	-0,0708
0,8	-0,112	9,44	-1,3216
1	-0,257	11,8	-3,0326
1,4	-0,565	16,52	-6,667
2	-1,22	23,6	-14,396
2,5	-1,96	29,5	-23,128
3	-2,5	35,4	-29,5

Fuente: Autores

Las coordenadas mx, my son las coordenadas de creager multiplicadas por el factor de carga energética (h_e) y por el factor de nivel de complejidad del sistema (Alto) en un periodo de diseño de 30 años²¹.

Figura 57. Perfil de Creage



Fuente: Autores

²⁰ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

²¹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. p 55.

Resalto o colchón amortiguador

Una vez realizados los cálculos pertinentes al diseño del perfil de creager, nace la necesidad de diseñar un resalto o colchón amortiguador que reduzca la energía cinética que ganó el agua en el perfil, tratando de disminuir la erosión que esta puede ocasionar en las obras de captación.

Partiendo de datos de construcción del azud, y la localización de los puntos en el corte longitudinal de la bocatoma, se toman los valores de:

$$\Delta H = 0.4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

$$H_{rejilla} = H + \Delta H = 0.0412 \text{ m} + 0.40 \text{ m} = 0.4412 \text{ m}$$

$$V_1 = \sqrt{2 \times g \times H_r} = 2.93 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Q_{invierno} = 0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_{invierno} = (H_1 * L) * V_1$$

$$H_1 = 0.009 \text{ m}$$

Energía en el punto E, con respecto al punto 1.

$$H_E = \Delta H + H_{aguainvierno} + \frac{V_e^2}{2 * g}$$

$$H_E = 0.47 \text{ m}$$

Profundidad de la cuenca.

$$H_{cuenca} = H_E - \Delta H - H_1$$

$$H_{\text{cuenca}} = 0.062 \text{ m}$$

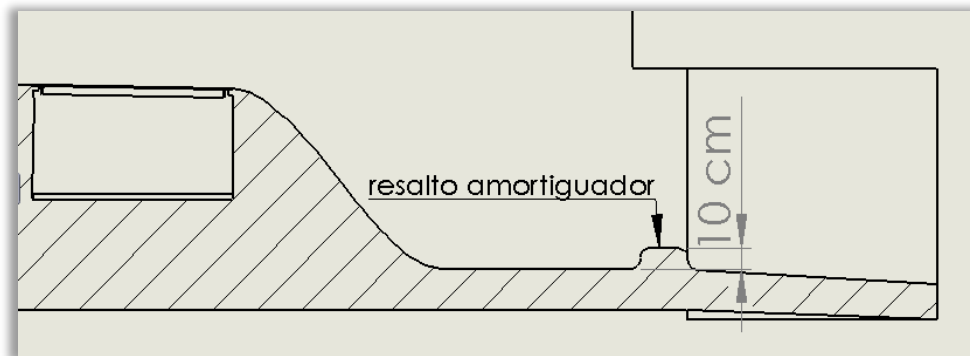
Profundidad aguas abajo, punto 2.

$$H_{\text{aguasabajo}} = H_{\text{cuenca}} + H_{\text{aguainvierno}} = 0.106 \text{ m}$$

El valor de la profundidad de la cuenca se verifica con la aproximación planteada por Merriam.

$$H_{\text{aguasabajo}} = H_2 = 0.45 * \frac{Q_{\text{invierno}}}{\sqrt{H_1}} = 0.92$$

Figura 58. Resalto o colchón amortiguador



Fuente: Autores

5.1.1.2 Diseño de la rejilla y el canal de aducción²²

Para el cálculo de la rejilla, consideran características del estudio hidrológico de la fuente:

$$Q_{\text{max}} = 20 \frac{\text{L}}{\text{seg}} , \quad H_{\text{max}} = 6.5 \text{ cm} , \quad Q_{\text{min}} = 12 \frac{\text{L}}{\text{seg}} , \quad H_{\text{min}} = 4.7 \text{ cm}$$

²² CORCHO, Freddy H y DUQUE, Jose I. Acueductos: teoría y diseño. 3ª. Ed. Medellín: universidad de Medellín, 2005. 640 p.

Se considera una rejilla equivalente al 60 % del ancho del rio, por lo cual su ancho seria de $b = 40$ cm.

Para el vertedero se procede a determinar el valor de la profundidad crítica Y_c .

$$Q_{min} = 12 \frac{l}{seg} = 0.012 \text{ m}^3/seg$$

$$q_1 = \frac{Q_{min}}{b} = 0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \cdot \text{seg}}$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q_1}{g}} = 0.045 \text{ m}$$

$$E_{min} = \frac{3 \cdot Y_c}{2}$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot Y_c} = 0.44 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

E_{min} = energia especifica minima

V_c = velocidad critica

Se considera la altura del agua a la entrada de la rejilla.

$$\frac{Y_1}{Y_c} = 0.9 \quad Y_1 = 0.04 \text{ m}$$

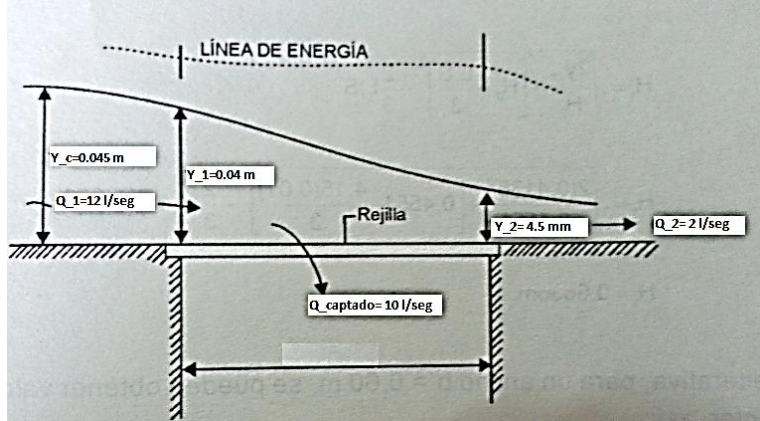
Cálculos de los niveles de la lámina de agua al inicio y final de la rejilla.

$$E = Y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = 0.068 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{Q_{min}}{b \cdot Y_1} = 0.75 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Calculo de la longitud de la rejilla para la condición crítica en la cual se cuenta con el caudal mínimo de 12 l/seg, para lo cual sobrarían 2 l/seg en la condición de captación de 10 l/seg.

Figura 59. Análisis grafico del agua a través de la rejilla



Fuente: Autores

$$Q_{\text{salida}} = 2 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 0.002 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{salida}} = b * Y_2 * \sqrt{2 * g * (E - Y_2)} \quad Y_2 = 4.5 \text{ mm}$$

Resultados:

$$Y_2 = 4.5 \text{ mm} \quad Y_1 = 40 \text{ mm} \quad E = 68 \text{ mm}$$

Calculo de la longitud de la rejilla.

$$X = \frac{E}{e * C} \left(\frac{Y_1}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} - \frac{Y_2}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_2}{E}} \right)$$

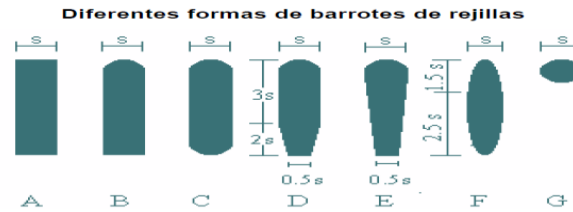
El coeficiente de descarga c , considera la inclinación de la rejilla, el tipo de barrotes que utiliza y el espacio entre barrotes.

$$C = \beta * \left(\frac{S}{\Delta b}\right)^{1.33} * \text{sen}(\alpha)^{23}$$

Figura 60. Coeficiente de pérdidas para rejillas

Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79



Fuente: Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B

$$S = \text{Diametro de barrotes} = 12.7 \text{ mm}$$

$$\text{espacios entre barrotes} = \Delta b = 4.2 \text{ cm}$$

$$C = \text{coeficiente de descarga por rejilla} = 0.38$$

Existe una relación entre el área neta y el área total de la rejilla = e.

$$e = \frac{A_{neta}}{A_{total}} = \frac{(n + 1) * \Delta b * L_{rejilla}}{((n + 1) * \Delta b + (n * S)) * L_{rejilla}} = 0.76;$$

$$\text{siendo } n = \text{numero de barrotes internos} = 6$$

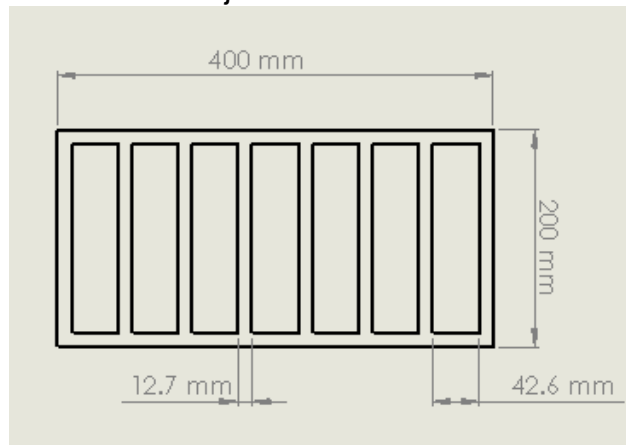
²³ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. p 57.

$$X = \frac{E}{e * C} \left(\frac{Y_1}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} - \frac{Y_2}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_2}{E}} \right) = 74.8 \text{ mm}$$

Se considera que la longitud de la rejilla debe ser de dos o tres veces el valor calculado, para mantener el caudal de captación bajo la existencia de alguna obstrucción en la rejilla como sería el caso de hojas de árboles u otro tipo de residuos.

$$L_{rejilla} = 20 \text{ cm}$$

Figura 61. Dimensiones de la rejilla



Fuente: Autores

5.1.1.3 Canal de aducción

El ancho del canal de aducción está diseñado bajo la condición de evitar que el flujo de vertimiento actúe directamente sobre las paredes del canal, para lo cual se realizaron los cálculos del alcance del flujo vertido en el canal de aducción.

Datos: $V_r = 0.40 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$ $H = 0.052 \text{ m}$

$$X_s = 0.36 * V_r^{\frac{2}{3}} + 0.6 * H^{\frac{4}{7}} = 0.29 \text{ m}$$

$$X_i = 0.18 * V_r^{\frac{4}{7}} + 0.6 * H^{\frac{3}{4}} = 0.17 \text{ m}$$

$$B = X_s \sim 30 \text{ cm}$$

De donde:

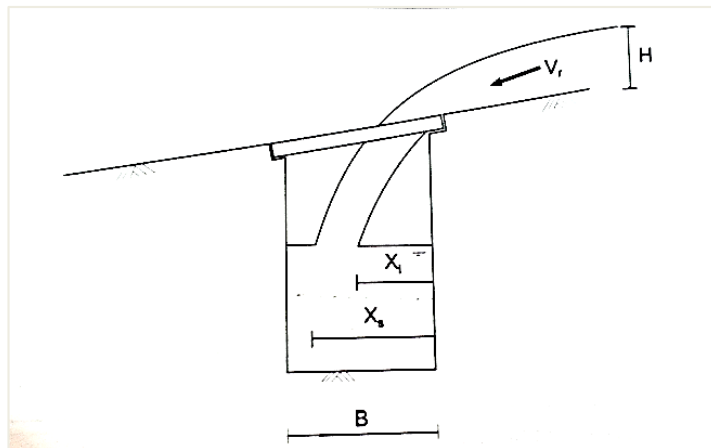
X_s =alcance filo superior (m)

X_i = alcance filo inferior (m)

V_r =velocidad del rio (m/seg)

B =ancho del canal de aducción (m)

Figura 62. Canal de aducción



Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado

Niveles del canal de aducción²⁴

El nivel de la lámina del canal de aducción aguas arriba es obtenido por medio del análisis de la cantidad de movimiento.

²⁴ LOPEZ, Ricardo A. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2ª. Ed. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2011. 546 p.

$$H_o = h_o + B.L = 5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

h_o = profundidad aguas arriba (m)

h_e = profundidad aguas abajo (m)

h_c = profundidad crítica (m)

B.L= borde libre.

i = pendiente del fondo del canal

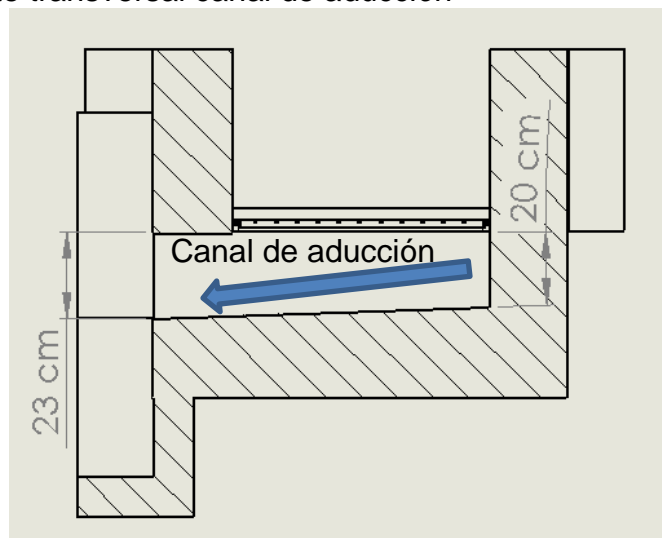
$$H_e = h_e + (h_o - h_e) + i * L_c + B.L = 4 \text{ cm} + (5 \text{ cm} - 4 \text{ cm}) + 0.04 * 65 + 15 \text{ cm}$$

$$H_e = 22.6 \text{ cm} \sim 23 \text{ cm}$$

La velocidad del agua al final del canal será:

$$V_e = \frac{Q}{B * h_e} = \frac{0.01}{0.4 * 0.04} = 0.63 \frac{m}{seg}$$

Figura 64. Corte transversal canal de aducción



Fuente: Autores

5.1.1.4 Diseño de cámara de recolección²⁵

Nuevamente se aplican las ecuaciones de alcance del chorro.

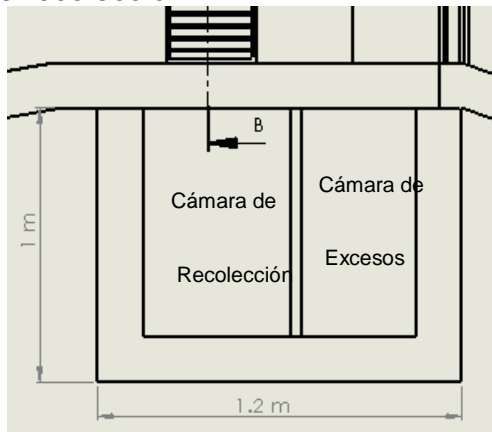
$$X_s = 0.36 * V_e^{\frac{2}{3}} + 0.6 * h_e^{\frac{4}{7}} = 0.36 \text{ m}$$

$$X_i = 0.18 * V_e^{\frac{4}{7}} + 0.6 * h_e^{\frac{3}{4}} = 0.204$$

$$L = X_s + 0.3 = 0.66 \text{ m}$$

Con los datos obtenidos, se observa que el valor de la cámara de recolección es un poco pequeño, lo cual no permite realizar de manera adecuada las labores de mantenimiento para el usuario, por lo cual se adopta la opción de realizar una cámara de (1m x 1.2 m).

Figura 65. Cámara de recolección



Fuente: Autores

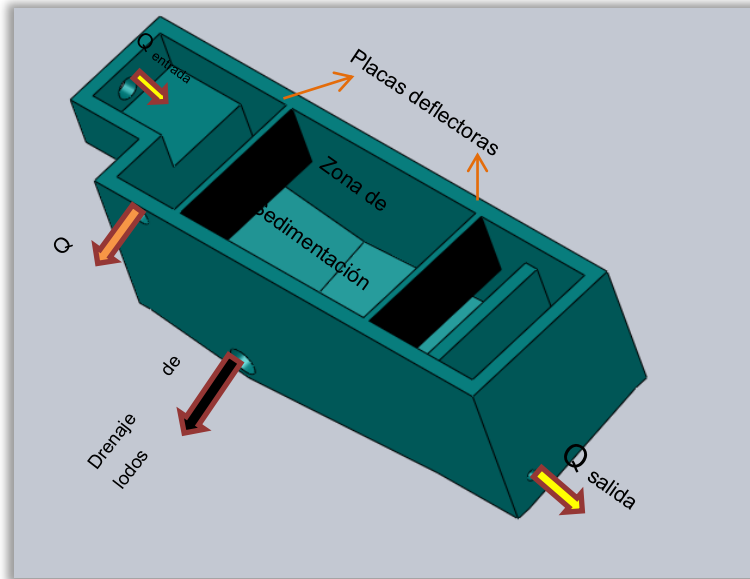
Todos los muros de la bocatoma estarán realizados en concreto reforzado, con una disposición de refuerzos como se muestra en el Anexo E...Ver Anexo E...

²⁵ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. p 56.

5.2 DISEÑO DEL DESARENADOR

Un desarenador es un tanque construido con el objetivo de sedimentar partículas en suspensión por acción de la gravedad. Se recomienda localizarlo lo más cercano a la bocatoma con el fin de evitar problemas de obstrucción.

Figura 66. Esquema básico del desarenador



Fuente: Autores

Los materiales transportados en el agua son básicamente.

Tabla 13. Clasificación de los materiales en suspensión

Material	Diámetro (mm)	Material	Diámetro (mm)
GRAVILLA:		FANGO:	
Gruesa	>2.0	Grueso y medio	0.05-0.01
Fina	2.0-1.0	Fino	0.01-0.005
ARENA:		ARCILLA:	
Gruesa	1.0-0.2	Grueso y medio	0.005-0.001
Media	0.5-0.25	Fino	0.001-0.0001
Fina	0.25-0.1	Coloidal	<0.0001
Muy fina	0.1-0.05		

Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado

Condiciones de la tubería de entrada

Q= 0.01 (m³/seg)

V=0.808 (m/seg)

D=6" (15.24 cm)

Condiciones de diseño del desarenador

La remoción de partículas del desarenador alcanza un diámetro mínimo de 0.10 mm correspondiente a las partículas finas, con un grado de remoción del 75 %. RAS 2000.

Temperatura= 18 ° C

Viscosidad cinemática = 0.01059 cm²/seg

Grado del desarenador, n= 1, debido a las características del desarenador, es decir; el número de placa deflectoras, el tipo de placas,

Relación de longitud: ancho = 3:1

Densidad de sedimentos = 2.65 g/cm³

Calculo de los parámetros de sedimentación²⁶

Velocidad de sedimentación para partículas de d_s=0.25 mm

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{\rho_s - \rho}{\mu} * d^2$$

²⁶ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. p 60.

$$V_s = 0.84 \text{ cm/seg}$$

Figura 67. Numero de Hazen

Número de Hazen (V_s/V_0)								
Condiciones	Remoción (%)							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
n = 1	7.00	4.00	3.00	2.30	1.80	1.50	1.30	1.00
n = 3	2.75		1.66					0.76
n = 4	2.37		1.52					0.73
Máximo teórico	0.88		0.75					0.50

Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. Ricardo Lopez. 2^{da} edición.

De la tabla se obtiene que para n=1 y considerando que las partículas de arena en el agua tendrán un diámetro mínimo de 0.25 mm, y las condiciones de uso del agua no son de tipo doméstico o de consumo humano, se recomienda una remoción del 75%, para lo cual se tiene.

$$\frac{V_s}{V_0} = \frac{\theta}{t} = 3.0$$

Suponiendo la profundidad útil de sedimentación, $H_u = 1$ metro, el tiempo que tarda la partícula en tocar el fondo será.

$$t = \frac{H_u}{V_s} = \frac{100 \text{ cm}}{0.84 \text{ cm/seg}} = 119.04 \text{ seg}$$

$$\theta = 3 * t = 357.14 \text{ seg}$$

El volumen del tanque será.

$$Vol = \theta * Q = 357.14 * 0.01 = 3.5714 \text{ m}^3$$

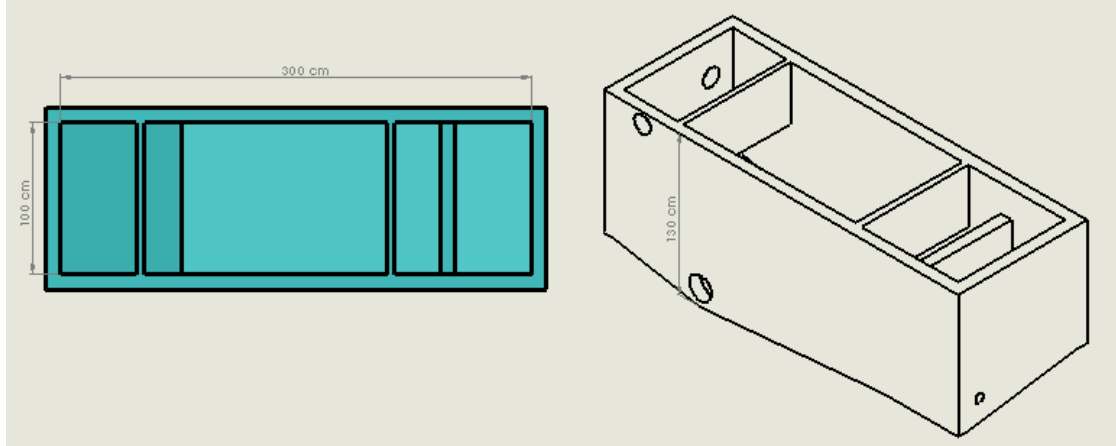
El área superficial del tanque.

$$A_s = \frac{Vol}{H_u} = \frac{3.5714 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 3.5714 \text{ m}^2$$

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}} = \sqrt{\frac{3.57 \text{ m}^2}{3}} = 1.09 \text{ m}$$

$$L_{longitud_desarenador} = 3 * B = 3 m$$

Figura 68. Dimensiones del desarenador



Fuente: Autores

Carga hidráulica superficial para el tanque.

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0.01 \text{ m}^3/\text{seg}}{3.5714 \text{ m}^2} = 0.0028 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{seg}}$$

La carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas.

$$V_o = q = 0.0028 \text{ m/seg}$$

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_o} = \frac{0.84 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}}{0.28 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}} = 3$$

La velocidad horizontal de la partícula debe ser menor a 0.17 m/seg

$$V_h = \frac{Q}{W} = \frac{Q}{B * H_u} = \frac{0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{1.09 \text{ m} * 1 \text{ m}} = 0.00917 \text{ m/seg}$$

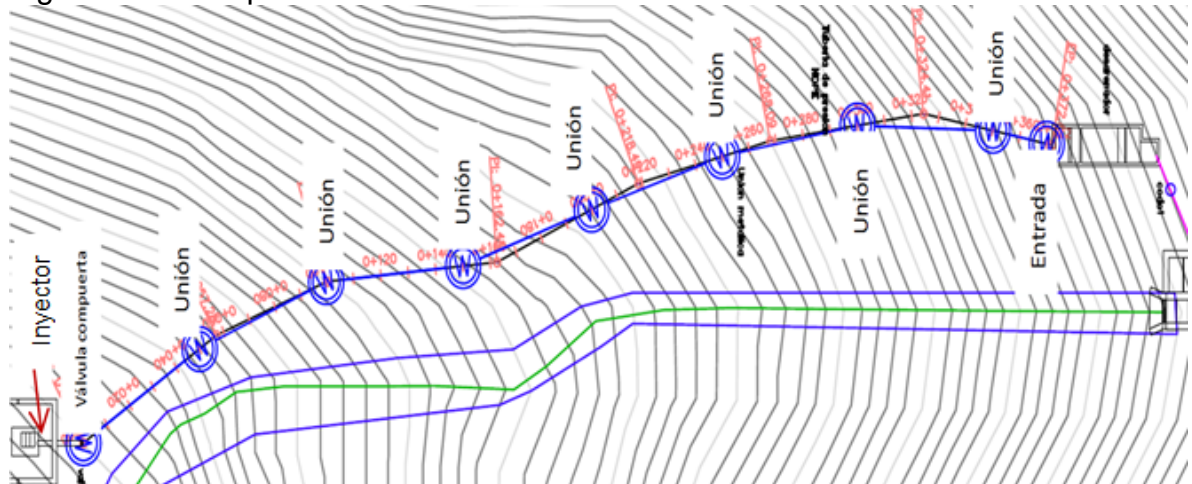
5.3 DISEÑO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

En el Diseño Preliminar se determinó un diámetro inicial de 3 pulgadas con DR=13.6 y Rating de presión 158 psi, se realizara el diseño hidráulico y Mecánico de la tubería con base de este diseño preliminar y se verificarán los resultados.

5.3.1 Diseño Hidráulico de la tubería de presión

Para el diseño Hidráulico de la tubería, se deben calcular las pérdidas de carga por fricción dentro de la tubería y en accesorios. El sistema de tuberías consta de una longitud total de 360 metros, presenta uniones cada 50 metros a excepción de un tramo de 10 metros, Lleva una Válvula de compuerta a la entrada de la turbina y una reducción gradual en el inyector de la turbina.

Figura 69. Esquema del Trazo de la tubería



Fuente: Autores

5.3.1.1 Pérdidas en la tubería

En el recorrido de las partículas de fluido dentro de la tubería, parte de la energía se pierde por fricción entre estas y las paredes del tubo y accesorios, la cuantificación de las pérdidas depende de las características de la tubería y de las condiciones del flujo, se clasifican en primarias y secundarias.

Perdidas primarias.

Las pérdidas primarias son las asociadas al contacto de superficie entre el fluido y la pared de tramos de tubería de sección constante y flujo Uniforme, este cálculo se realiza por medio de la ecuación de DARCY-WEISBACH²⁷.

$$H_{fp} = \frac{f \cdot L_{tuberia} \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D_i}$$

Dónde:

H_{fp} : Perdidas primarias.

f : Factor de fricción de Darcy.

$L_{tuberia}$: Longitud total de la tubería.

V : velocidad promedio del flujo.

D_i : Diámetro interno.

Diagrama de Moody

El factor de fricción del flujo en la tubería depende del Reynolds y la rugosidad relativa, que a su vez es la relación entre la rugosidad absoluta de la tubería y su diámetro, El diagrama de Moody proporciona para un flujo en la tubería el valor del factor de fricción de Darcy en función del Reynolds y la rugosidad relativa de manera gráfica.

²⁷ CENGEL, Y. CIMBALA, J. Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones. México, D.F., Mc Graw Hill, 2006. p 321-354.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D_i}$$

Dónde:

ε_r = Rugosidad relativa.

ε = Rugosidad absoluta.

D_i = Diámetro Interno.

Tabla 14. Valores de Rugosidad relativa
Surface Roughness for Various New Pipes

Type of Pipe	'E' Absolute Roughness of Surface, ft		
	Values for New Pipe Reported by Reference ⁽¹⁸⁾	Values for New Pipe and Recommended Design Values Reported by Reference ⁽¹⁹⁾	
		Mean Value	Recommended Design Value
Riveted steel	0.03 - 0.003	–	–
Concrete	0.01 – 0.001	–	–
Wood stave	0.0003 – 0.0006	–	–
Cast Iron – Uncoated	0.00085	0.00074	0.00083
Cast Iron – Coated	–	0.00033	0.00042
Galvanized Iron	0.00050	0.00033	0.00042
Cast Iron – Asphalt Dipped	0.0004	–	–
Commercial Steel or Wrought Iron	0.00015	–	–
Drawn Tubing	0.000005 corresponds to “smooth pipe”	–	–
Uncoated Steel	–	0.00009	0.00013
Coated Steel	–	0.00018	0.00018
Uncoated Asbestos – Cement	–		
Cement Mortar Relined Pipes (Tate Process)	–	0.00167	0.00167
Smooth Pipes (PE and other thermoplastics, Brass, Glass and Lead)	–	“smooth pipe” (0.000005 feet) (See Note)	“smooth pipe” (0.000005) (See Note)

Note: Pipes that have absolute roughness equal to or less than 0.000005 feet are considered to exhibit “smooth pipe” characteristics.

Fuente: AWWA C901-08 Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, ½ In. (13 mm) Through 3 In. (76 mm) for Water Service.

$$\varepsilon = 0.000005 [ft] = 0.001524[mm]$$

Numero de Reynolds.

El número de Reynolds es la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en el fluido, es una medida de que tan importante es la viscosidad en el flujo, es un número adimensional y se calcula por la siguiente formula:

$$Re = \frac{V * D_i}{\vartheta}$$

Dónde:

V: Velocidad del fluido dentro de la tubería.

ϑ : Viscosidad cinemática.

D_i : Diámetro interno

Figura 70. Propiedades del agua a 25°C

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} kJ/kg	Calor específico, C _p J/kg · °C		Conductividad térmica, k W/m · °C		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.972 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³

Fuente: CENGEL, Y. CIMBALA, J. Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones. México, D.F., Mc Graw Hill, 2006. p 321-354.

Viscosidad cinemática.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.891E^{-3}}{997} = 8.93E^{-7} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Velocidad promedio del agua.

Para el cálculo de la velocidad del agua dentro de la tubería se utiliza la ecuación de continuidad.

$$Q = V * A$$

Dónde:

Q = Caudal

V = Velocidad promedio del agua

A = Área de la sección transversal.

$$A = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

Del diseño preliminar se determinó que las dimensiones de la tubería para analizar son las siguientes.

Tabla #: Dimensiones de la tubería.

Dimensiones (diámetro nominal, diámetro externo, espesor de pared)									
Tamaño Nominal d_n	Diámetro Exterior promedio, mm		Ovalamiento máximo (mm)	Serie del tubo					
				S 8		S 6,3		S 5	
	Relación dimensional estándar								
	RDE 17			RDE 13,6		RDE 11			
	Presión Nominal para $s = 8\text{MPa}$								
	PN10			PN12,5		PN16			
	Esesor de pared mínimo mm	Tolerancia mm		Esesor de pared mínimo mm	Tolerancia mm	Esesor de pared mínimo mm	Tolerancia mm		
32	32,00	32,30	1,3	-	-	-	-	3,0	+0,5
40	40,00	40,30	1,4	-	-	-	-	3,7	+0,6
50	50,00	50,30	1,4	-	-	-	-	4,6	+0,7
63	63,00	63,40	1,5	3,8	+0,6	4,7	+0,8	5,8	+0,9
90	90,00	90,60	1,8	5,4	+0,9	6,7	+1,1	8,2	+1,3
110	110,00	110,60	2,2	6,6	+1,0	8,1	+1,3	10,0	+1,5
160	160,00	161,00	3,2	9,5	+1,5	11,8	+1,8	14,6	+2,2
200	200,00	201,20	4,0	11,9	+1,8	14,7	+2,3	18,2	+3,6
250	250,00	251,50	5,0	14,8	+2,3	18,4	+3,6	22,7	+4,5

Fuente: Catalogo Extrucol S.A.

Diámetro Interno.

Para cálculos de flujo, el diámetro interior se calcula restando dos veces el espesor de pared promedio del diámetro exterior especificado, además se debe restar la tolerancia de fabricación, que para tuberías plásticas²⁸ es 12% del espesor mínimo.

$$D_i = D_o - 2.12 * t$$

$$D_o = 90[\text{mm}]$$

²⁸ THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p.

$$t = 6.7[\text{mm}]$$

$$D_i = 90 - 2.12 * 6.7 = 75.79 [\text{mm}] = 0.07579[\text{m}]$$

Remplazando los valores conocidos se tiene:

$$A = \frac{\pi 0.07579^2}{4} = 4.51E^{(-3)} [\text{m}^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.01}{4.51E^{(-3)}} = 2.22 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$Re = \frac{2.22 * 0.07579}{8.9 E^{[-7]}} = 189049.2$$

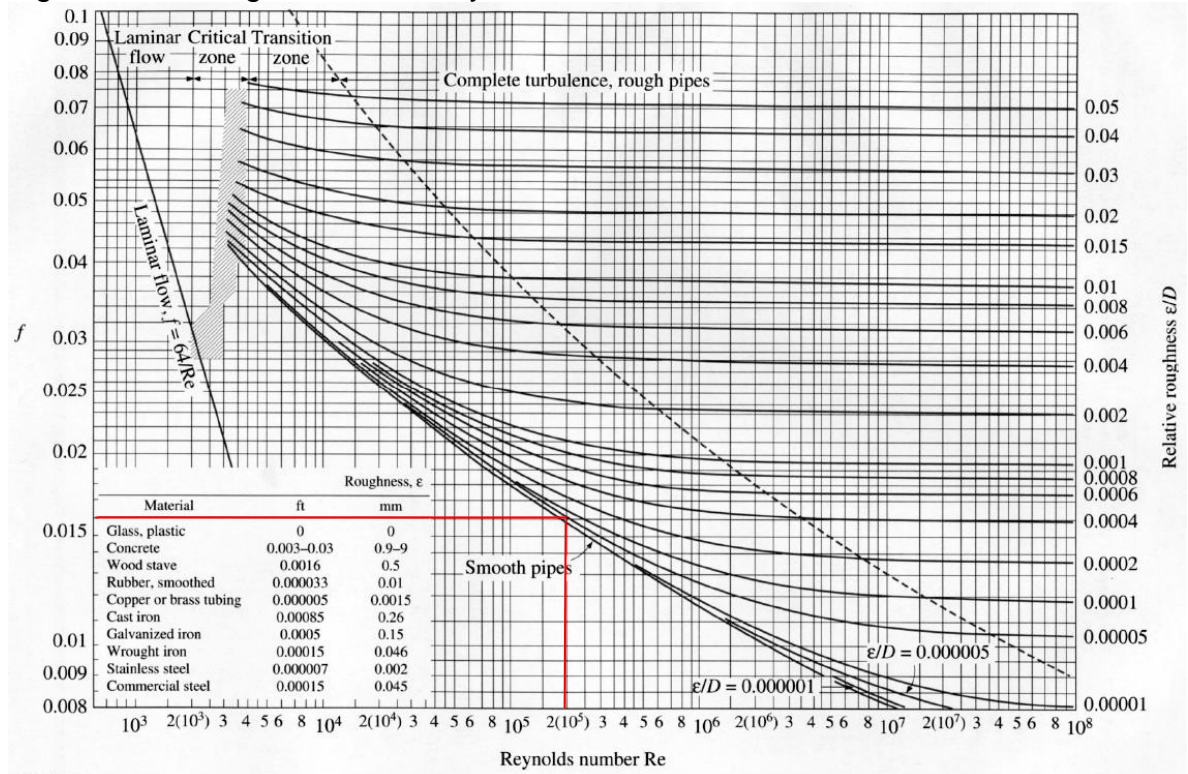
$$\varepsilon_r = \frac{0.001524}{75.79} = 2.01E^{(-5)}$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa se determina en el diagrama de Moody el factor de fricción de Darcy, para lo cual se tiene un factor de fricción igual a $f = 0.016$. Verificando en la ecuación de Colebrook.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_i} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)^{29}$$

²⁹ NETTO, Acevedo. Manual de hidráulica. São Paulo. Edgard Blücher, 1998. P166

Figura 71. Diagrama de Moody.



Fuente: NETTO, Acevedo. Manual de hidráulica. São Paulo. Edgard Blücher, 1998.

Remplazando en la ecuación de DARCY-WEISBACH se tiene:

$$H_{fp} = \frac{f * L * V^2}{2 * g * D_i} = \frac{0.016 * 360 * 2.22^2}{2 * 9.81 * 0.07579} = 19.9 [mca]$$

Perdidas Secundarias

Se tienen pérdidas por accesorios en la conexión de la tubería a la cámara de carga, en las 7 uniones, en la Válvula de compuerta y en el inyector. Se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$H_{fs} = K_{Total} \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

H_{fs} : Perdidas Secundarias [mca]

$K_{Total} = \sum K_i$; K_i es el coeficiente de pérdidas asociado a los accesorios.

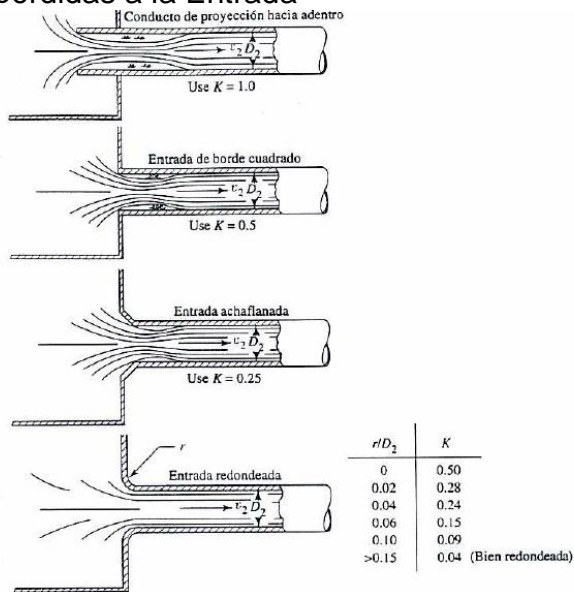
Coeficiente de pérdidas a la Entrada de la tubería

A la entrada de la tubería ocurre un caso especial de contracción, cuando un fluido fluye desde un depósito hacia un conducto, este debe acelerarse desde una velocidad relativamente despreciable a la velocidad del fluido en el conducto. La facilidad con que se realiza la aceleración determina las pérdidas de energía, por tanto el valor del coeficiente de pérdidas depende de la geometría de entrada. En la Figura se muestran diferentes formas de conexión y su coeficiente de pérdidas.

Teniendo en cuenta las facilidades de construcción y en búsqueda de la disminución de las pérdidas se toma la entrada de borde cuadrado, que presenta un coeficiente de pérdidas.

$$K_{Entrada} = 0.5$$

Figura 72. Coeficiente de pérdidas a la Entrada³⁰

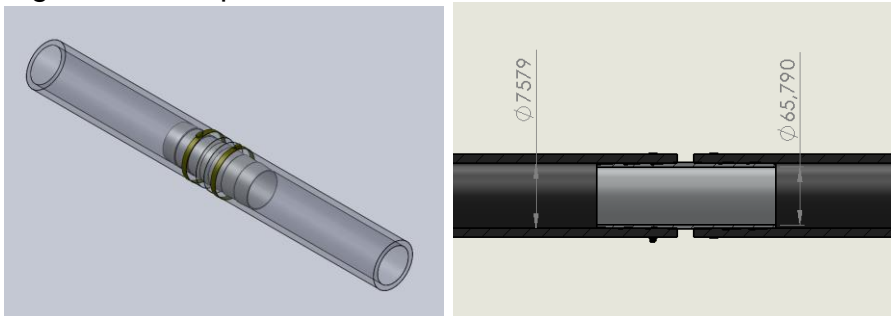


Fuente: Mecánica de Fluidos Aplicada (Robert. L. Mott)

Coeficiente de pérdidas en Uniones

El tipo de uniones a utilizar es por medio de un elemento de transición fabricado en aluminio con estrías que entran en forma de macho en la tubería y se aseguran con abrazaderas de presión, como muestra la siguiente figura.

Figura 73. Tipo de unión Utilizada



Fuente: Autores

³⁰ MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4ª. Ed. México: Pearson educación, 2006. 930 p.

Tabla 15. Pérdida de Presión Tuberías Unión Platino RDE 13.5

ECUACIÓN HAZEN WILLIAMS								
C 150								
Diámetro Nominal	pulg	3		4		6		8
Diámetro Exterior	mm	88.90		114.30		168.28		219.08
Espesor de Pared	mm	6.58		8.46		12.47		16.23
Diámetro Interior	mm	75.74		97.38		143.34		186.62
CAUDAL	Velocidad	hf	Velocidad	hf	Velocidad	hf	Velocidad	hf
l/s	m/s	m/m	m/s	m/m	m/s	m/m	m/s	m/m
0.60	0.13	0.0003						
0.80	0.18	0.0005	0.11					
1.00	0.22	0.0008	0.13	0.0002				
2.00	0.44	0.0029	0.27	0.0002				
3.00	0.67	0.0061	0.40	0.0008	0.19	0.0003		
4.00	0.89	0.0103	0.54	0.0018	0.25	0.0005		
5.00	1.11	0.0156	0.67	0.0030	0.31	0.0007	0.18	0.0002
6.00	1.33	0.0219	0.81	0.0046	0.37	0.0010	0.22	0.0003
7.00	1.55	0.0292	0.94	0.0064	0.43	0.0013	0.26	0.0004
8.00	1.78	0.0373	1.07	0.0086	0.50	0.0017	0.29	0.0005
9.00	2.00	0.0464	1.21	0.0110	0.56	0.0021	0.33	0.0006
10.00	2.22	0.0564	1.34	0.0137	0.62	0.0025	0.37	0.0007
11.00	2.44	0.0673	1.48	0.0166	0.68	0.0030	0.40	0.0008
12.00	2.66	0.0791	1.61	0.0198	0.74	0.0035	0.44	0.0010
13.00	2.89	0.0918	1.75	0.0233	0.81	0.0041	0.48	0.0011
14.00	3.11	0.1053	1.88	0.0270	0.87	0.0047	0.51	0.0013
15.00	3.33	0.1196	2.01	0.0309	0.93	0.0053	0.55	0.0015
16.00	3.55	0.1348	2.15	0.0352	0.99	0.0060	0.58	0.0017
17.00	3.77	0.1508	2.28	0.0396	1.05	0.0067	0.62	0.0019
18.00	4.00	0.1676	2.42	0.0443	1.12	0.0075	0.66	0.0021
19.00	4.22	0.1853	2.55	0.0493	1.18	0.0083	0.69	0.0023
20.00	4.44	0.2038	2.69	0.0545	1.24	0.0091	0.73	0.0025
25.00			3.36	0.0599	1.55	0.0138	0.91	0.0038
30.00			4.03	0.0906	1.86	0.0193	1.10	0.0053
35.00			4.70	0.1269	2.17	0.0257	1.28	0.0071
40.00				0.1689	2.48	0.0329	1.46	0.0091
45.00					2.79	0.0409	1.65	0.0113
50.00					3.10	0.0497	1.83	0.0138
55.00					3.41	0.0593	2.01	0.0164
60.00					3.72	0.0697	2.19	0.0193
65.00					4.03	0.0808	2.38	0.0224
70.00					4.34	0.0927	2.56	0.0257
75.00					4.65	0.1054	2.74	0.0291
80.00					4.96	0.1188	2.92	0.0328
85.00							3.11	0.0368
90.00							3.29	0.0409
95.00							3.47	0.0452
100.00							3.66	0.0497
105.00							3.84	0.0544
110.00							4.02	0.0592
115.00							4.20	0.0643
120.00							4.39	0.0696
125.00							4.57	0.0751
130.00							4.75	0.0807
135.00							4.94	0.0866

Fuente: http://pavco.com.co/files/data/20120116152047_s.pdf

Se tiene una pérdida de presión de 0.0564m por cada metro de longitud de la unión. Cada unión tiene una longitud de 0.381m. por tanto la perdida de carga en cada unión será.

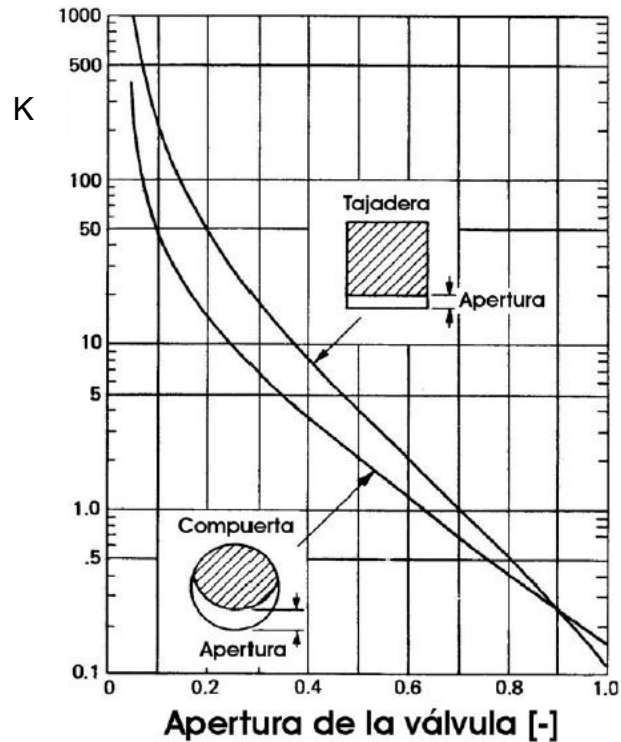
$$H_{fUniones} = 0.0564 * 0.381 = 0.0215 \text{ mca/Union}$$

Se tienen un total de 7 uniones, por tanto las pérdidas por uniones serian.

$$H_{fUniones} = 0.15 \text{ [mca]}$$

Coeficiente de pérdidas en Válvula de compuerta.

Figura 74. Coeficiente de pérdidas en Válvula de compuerta



Fuente: Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. CRANE

Para la válvula completamente abierta se tiene.

$$K_{\text{Válvula de Compuerta}} = 0.2$$

$$K_{\text{Total}} = K_{\text{Entrada}} + K_{\text{Válvula de Compuerta}}$$

$$K_{\text{Total}} = 0.5 + 0.2 = 0.7$$

Remplazando en la ecuación de pérdidas secundarias se tiene.

$$H_{fs} = K_{\text{Total}} \frac{V^2}{2g} + H_{f\text{Uniones}}$$

$$H_{fs} = 0.7 * \frac{2.22^2}{2 * 9.81} + 0.15 = 0.32 [mca]$$

La pérdida total de la tubería es la suma de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias.

$$H_f = H_{fp} + H_{fs}$$

$$H_f = 19.9 + 0.32 = 20.22 [mca]$$

5.3.1.2 Altura Neta

La altura neta es la energía que se le entrega a la turbina, es resultado de restarle a la altura bruta las pérdidas por fricción del agua con las paredes de la tubería y los accesorios instalados sobre esta. La altura neta se puede encontrar por medio de la siguiente ecuación.

$$H_n = H_{Bruta} - H_f$$

Dónde:

H_n : Altura Neta.

H_{Bruta} : Altura Bruta o altura geométrica.

H_f : Pérdidas en la tubería.

Remplazando valores se tiene.

$$H_n = 110 - 20.22 = 89.78 [m]$$

5.3.2 Diseño Mecánico de la tubería de presión

Sobrepresión por Golpe de ariete³¹

El golpe de ariete es la terminología utilizada para denominar el choque producido por una disminución súbita de la velocidad del fluido. El cierre de una válvula produce la disminución de flujo, generándose una onda de presión que aumenta la tensión de trabajo en las paredes de la tubería.

Las altas presiones en la tubería de presión de una Pico central hidroeléctrica ocurren por el cierre brusco de la válvula reguladora de caudal ubicada en la casa de máquinas a la entrada de la turbina.

Las Sobrepresiones y Depresiones en la tubería cuando ocurren golpes de ariete se determina por la siguiente ecuación.

$$P_{ariete} = P_{operacion} \pm P_{transitoria}$$

Dónde:

P_{ariete} = Presión de ariete

$P_{operacion}$ = Presión de operación.

$P_{transitoria}$ = Presión transitoria.

$$P_{operacion} = \frac{H_n}{0.7045} = \frac{89.78}{0.7045} = 127.43 [psi]$$

Para Tubería de polietileno con presiones nominales estandarizadas, la AWWA C901-08 establece los siguientes criterios de diseño para sobrepresiones transitorias.

³¹ THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p.

✓ **Resistencia a sobrepresiones Ocasionales.**

Las sobrepresiones ocasionales son causadas por operaciones de emergencia, tales como el mal funcionamiento o la falla de un componente.

La suma de la presión normal de operación y la sobrepresión calculada no debe superar 2 veces la presión nominal o la clasificación de la tubería.

✓ **Resistencia a sobrepresiones Recurrentes**

Las sobrepresiones recurrentes son inherentes al Diseño y operación de un sistema, pueden ocurrir por el encendido y apagado de una bomba, apertura y cierre normal de una válvula.

La suma de la presión normal de operación y la sobrepresión calculada no debe superar 1.5 veces la presión nominal o la clasificación de la tubería

Para este proyecto se tendrían Sobrepresiones Recurrentes, por tanto la presión máxima que soportaría la tubería será:

$$P_{Max} = 1.5 * PR$$

$$P_{Max} = 1.5 * 158.73 = 238[psi]$$

La presión transitoria se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P_{transitoria} = a * \left(\frac{\delta V}{2.31 * g} \right)^{32}$$

Dónde:

δV = Velocidad del agua en la tubería [ft/s]

³² THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p

a = Velocidad de propagación de la onda en la tubería [ft/s]

$g = 32.2 \left[\frac{ft}{s^2} \right]$ Aceleración gravitacional

$$\delta V = 2.22 \left[\frac{m}{s} \right] = 7.28 \left[\frac{ft}{s} \right]$$

La velocidad de propagación de la onda depende del material de la tubería, el diámetro y el espesor. Una manera aproximada de encontrar la velocidad de propagación de la onda es mediante la siguiente ecuación.

$$a = \frac{4660}{\sqrt{1 + \frac{K_{BULK}}{E_d} (DR - 2)}}^{33}$$

Dónde:

a = Velocidad de propagación de la onda [ft/s]

$K_{BULK} = 300000$ [psi] Módulo de elasticidad Volumétrico del agua a 25°C

$E_d = 150000$ [psi] Módulo de elástico PE (módulo de Young) a 25°C

$DR = 13.6$ Relación Diámetro Espesor.

$$a = \frac{4660}{\sqrt{1 + \frac{300000}{150000} (13.4 - 2)}} = 947.3 \left[\frac{ft}{s} \right]$$

$$P_{transitoria} = 947.3 * \left(\frac{7.28}{2.31 * 32.2} \right) = 92.71 [psi]$$

$$P_{ariete} = 127.33 \pm 92.71$$

$$P_{ariete}^+ = 220 [psi]$$

³³ THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p

$$P_{ariete}^- = 34.62 [psi]$$

$$P_{ariete} < P_{Max}$$

Por tanto la tubería soporta las sobrepresiones por golpe de ariete. Sin embargo aunque la tubería de PE es muy tolerable a estas sobrecargas es posible que los accesorios que se instalen no lo sean. Por tanto Siendo prudentes se debe minimizar el impacto por golpe de ariete utilizando mecanismos que absorban estos picos de presión. Dentro de las soluciones para minimizar estas sobrepresiones están la instalación de válvulas de alivio, cámaras de aire, chimeneas, y en operación de las válvulas realizando un cierre lento.

En este proyecto se realizara control del golpe de ariete al garantizar un cierre lento de la válvula bloque a la entrada de la turbina. Por tanto el Tiempo de cierre debe ser superior al tiempo crítico de cierre.

El tiempo crítico de cierre se denomina como el tiempo que tarda una onda de presión iniciada en una válvula de cierre para ir a las obras de captación y volver de nuevo a la válvula, se calcula con la siguiente expresión.

$$T_{CR} = \frac{2 * L}{a}$$

Dónde:

T_{CR} =Tiempo crítico [s]

$L = 360[m] = 1181[ft]$ = Longitud de la tubería

$a = 947.3 \left[\frac{ft}{s} \right]$ Velocidad de propagación de la onda.

$$T_{CR} = \frac{2 * 1181}{947.3} = 2.49 [s]$$

Por lo tanto el tiempo de apertura de la válvula debe ser superior a 2.49 segundos.

5.4 DISEÑO DE LA TURBINA PELTON

5.4.1 Diseño Hidráulico de la Turbina Pelton.

A continuación se realizarán los cálculos hidráulicos de la turbina pelton, se determinarán las dimensiones del rodete, se estudiará el flujo del agua por la cuchara y se determinarán los principales coeficientes de velocidades a fin de obtener las mejores eficiencias de la turbina. Por último se determinará por medio de los criterios de la última partícula y aprovechamiento total del chorro el número adecuado de cucharas que debe llevar el rodete.

5.4.1.1 Cálculo de la velocidad específica N_s

$$N_s = n \times \frac{Pot^{1/2}}{H^{5/4}}$$

Dónde:

N_s = Velocidad específica [rpm]

n = Velocidad de rotación de la turbina en [rpm]

Pot = Potencia en el eje de la turbina [cv]

H_n = Altura nominal [metros]

$$Q_{Diseño} = C_1 * A_{chorro}$$

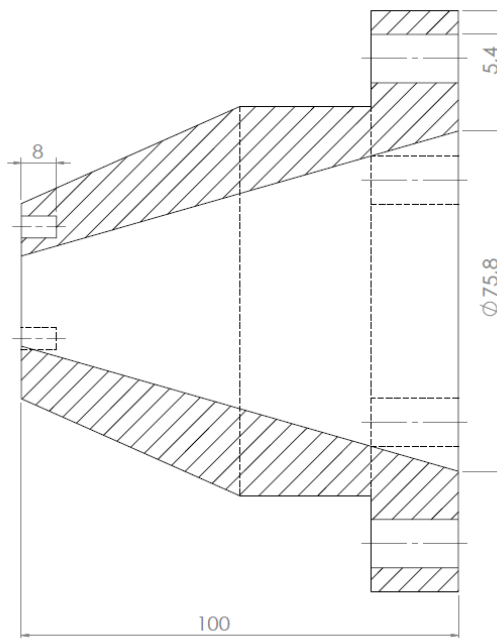
$$Q_{Diseño} = C_1 * \frac{\pi * d_{chorro}^2}{4}$$

$$C_1 = K_{c1} * \sqrt{2 * g * H_n}$$

Coeficiente de velocidad del Inyector (Boquilla). K_{c1}

Una boquilla de flujo es una contracción gradual seguida de una sección cilíndrica recta y corta, como se aprecia en la figura. Debido a la contracción gradual y pareja las pérdidas son muy pequeñas. El Coeficiente de velocidad varía entre 0.97 y 0.99 en las turbinas pelton modernas³⁴.

Figura 75. Geometría del inyector

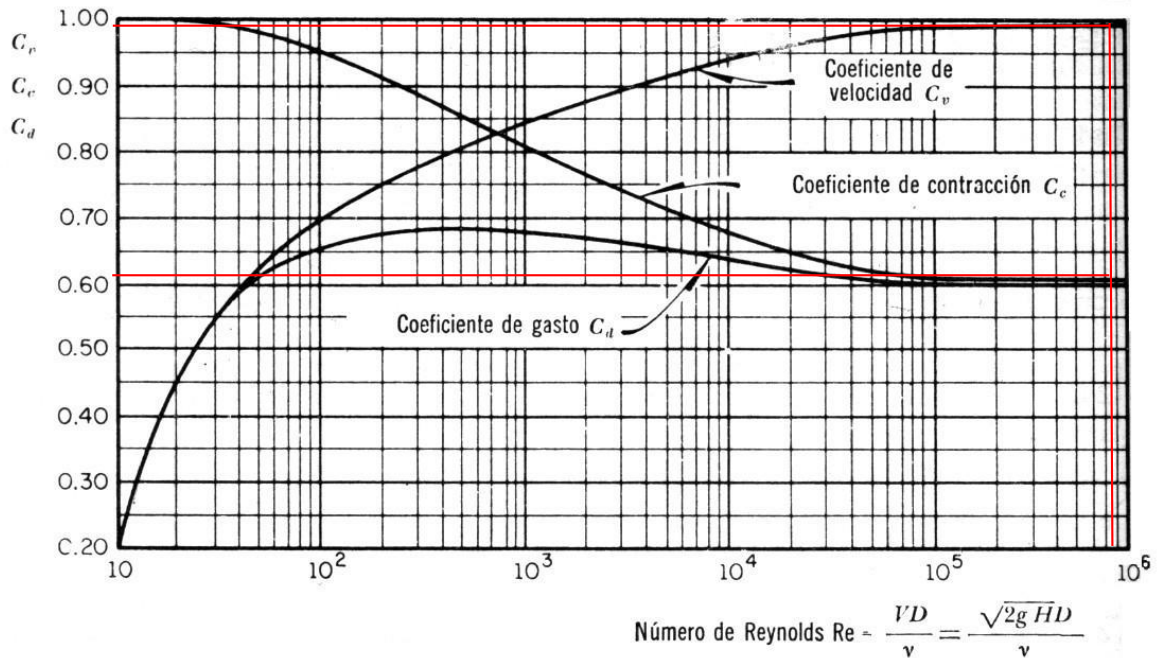


Fuente: Los Autores

En la siguiente grafica se puede determinar el coeficiente de velocidad, de contracción y de gasto para un orificio circular en función del número de Reynolds en el orificio.

³⁴ MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

Figura 76. Coeficiente de contracción para la boquilla³⁵



Fuente: Modern trends in selecting and Designing Pelton Turbines

Re_2 = Numero de Reynolds en el Diámetro menor

$$Re_2 = \frac{c_0 * d}{\nu}$$

Tomando la velocidad teórica del chorro y conservando el caudal de diseño se tiene un número de Reynolds cercano al real, por tanto se tiene

$$c_0 = \sqrt{2 * g * H_n} = \sqrt{2 * 9.81 * 89.78} = 41.97 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$d = \sqrt{\frac{Q_{Diseño} * 4}{c_0 * \pi}} = \sqrt{\frac{0.01 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 4}{41.97 \left[\frac{m}{s} \right] * \pi}} = 0.01742 [m]$$

³⁵ DE SIERVO, F. and LUGARESI, A. "Modern trends in selecting and Designing Pelton Turbines", Water Power and Dam Construction, Vol. 30, No.12, 1978.

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = 8.93E^{-7}$$

$$Re_2 = \frac{41.97 * 0.0174}{8.93E^{-7}} = 817780.5 = 8.2 * 10^5$$

Con este número de Reynolds se puede Verificar en la figura los siguientes coeficientes en la Boquilla.

$$\text{Coeficiente de velocidad : } K_{c1} = 0.99$$

$$\text{Coeficiente de contracción : } C_c = 0.62$$

Remplazando valores se obtiene el diámetro del chorro:

$$H_n = 89,71 [m] ; \text{ Altura neta.}$$

$$C_1 = 0.99 * \sqrt{2 * 9.81 * 89.78}$$

$$C_1 = 41.55 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$0.01 = 41.55 * \frac{\pi * d_{chorro}^2}{4}$$

Despejando d_{chorro}

$$d_{chorro} = 0.0175[m] = 17.5[mm]$$

Finalmente se verificó que el número de Reynolds no presentara una variación considerable. $Re_2 = \frac{41.55 * 0.0175}{8.93E^{-7}} = 814249.72$. Que es muy próximo al tomado.

Calculo de las revoluciones.

$$U_1 = w * \frac{D_p}{2}$$

Dónde:

U_1 =: Velocidad tangencial de la rueda

w : Velocidad angular de la rueda

D_p =Diametro pelton

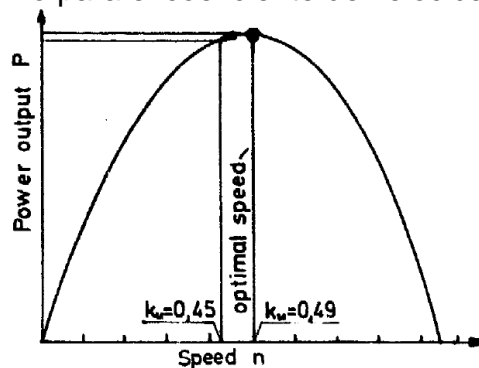
$$n = w * \frac{30}{\pi}$$

$$n = \frac{U_1 * 60}{\pi * D_p}$$

$$U_1 = K_{U1} \sqrt{2gH_n}$$

K_{U1} Coeficiente de velocidad Periférica. En la práctica se tiene para un rendimiento Óptimo un valor comprendido entre 0.45 y 0.49, el valor teórico es 0.5, que corresponde a la máxima eficiencia hidráulica.³⁶

Figura 77. Rango óptimo para el coeficiente de velocidad periférica.



Fuente: Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Olade

³⁶ II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4

Las turbinas pelton se utilizan en aplicaciones donde se tiene poco caudal y gran altura, y el coeficiente de velocidad periférica califica la velocidad y el tamaño en función de la carga, siendo menor para cargas altas. Para este proyecto al tenerse una gran altura y siendo la maquina relativamente pequeña se toma:

$$K_{U1} = 0.45$$

Por tanto se tiene.

$$U_1 = 0.45 * \sqrt{2 * 9.81 * 89.78}$$

$$U_1 = 18.88 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$n = \frac{18.88 * 60}{\pi * D_p} = \frac{360.6}{D_p}$$

Potencia en el eje de la turbina:

$$Pot = \rho_{agua} * g * H_n * Q_{Diseño} * \eta_{Turbina}$$

En estudios experimentales se ha mostrado que la eficiencia para las turbinas pelton pequeñas tienen un valor alrededor de 0.8, para este diseño se consideró este valor.

Tabla 16. Eficiencias típicas en pequeñas turbinas Pelton

ORGANIZACIÓN	SIGLAS	EFICIENCIA DE PEQUEÑAS TURBINAS PELTON
European Small Hydropower Association	ESHA	0.9
Organización Latinoamericana de Energía	OLADE	0.8
Harnessing Water Power On A Small Scale	MHPG	0.75 – 0.85

Fuente: Manuales para el diseños de pequeñas hidroeléctricas

$$\eta_{Turbina} = 0.80$$

$$Pot = 997 * 9.81 * 89.78 * 0.01 * 0.80$$

$$Pot = 7024.8[W]$$

$$Pot = 7024.8 * \frac{1.36 [cv]}{1000[W]} = 9.55[cv]$$

Relación $\frac{d_{chorro}}{D_p}$ ³⁷

Es notable que la velocidad específica de la turbina está directamente relacionada con esta relación de igual manera las condiciones físicas también dependen de esta, ya que si es pequeña se tendría una rueda de gran diámetro y por ende muy pesada, lo que representaría una alta carga de arranque de la máquina. Por otro lado si esta relación es demasiado grande implicaría un diámetro pequeño de la rueda con cucharas relativamente grandes con relación a la rueda, lo que dificultaría su construcción. A continuación se muestran los límites máximos y mínimos recomendados.

Límite mínimo Práctico. $\frac{d_{chorro}}{D_p} = \frac{1}{30}$

Límite máximo Práctico. $\frac{d_{chorro}}{D_p} = \frac{1}{9}$

En la elección de la mejor relación $\frac{d_{chorro}}{D_p}$, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos.

- Rendimiento de la turbina.

³⁷ MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

- Limitaciones constructivas en el proceso de fundición, modelado y mecanizado.
- Estandarización del sistema de transmisión entre turbina y generador.

En estudios experimentales se ha observado que el rendimiento de las turbinas Pelton aumenta con el tamaño de las turbinas, cuestión inversa lo que sucede con la velocidad de rotación. Es decir, las turbinas de velocidad de rotación elevadas tienden a tener un menor rendimiento que las turbinas de velocidades relativamente intermedias o bajas. Con lo cual se busca diseñar rodetes eficientes con diámetros pelton que conserven una buena relación en cuanto al tamaño de los rodetes y sus respectivos costos de construcción.

Limitaciones constructivas en el proceso de fundición, modelado y mecanizado

Los diseñadores de máquinas frecuentemente encuentran limitaciones de sus diseños específicos en el trabajo de materiales con los fabricantes, en el uso de elementos como cojinetes, correas y una gran multitud de dispositivos que normalmente ya están normalizados para una mejor comunicación fabricante diseñador. La misma situación ocurre con los procesos de fundición, en lo cual es pertinente conocer las necesidades del proceso de fundición para evitar gastos excesivos en el modelo, tensiones internas, resistencias insuficientes, roturas, desechos por rechupes, porosidades etc. Con lo cual es adecuado realizar un análisis de criterios en el proceso.

✓ Criterios relativos a la economía

Una de las maneras previstas para disminuir los costos en el proceso de fundición se realiza a través de la sustitución de paredes gruesas por paredes delgadas. Teniendo en cuenta que tal disminución no debe interferir en la resistencia mecánica para la cual fue diseñada el elemento.

✓ **Criterio relativo al mecanizado de piezas**

En la elaboración del diseño, se debe proyectar las posteriores mecanizaciones que sufrirá el mismo, y los relativos emplazamientos sobre las máquinas de herramientas, como lo sería para el caso de las cucharas en las cuales se les debe ejecutar un pulido con herramientas del tipo motor-tools u otra a las cuales se les debe considerar un paso de acceso a las áreas de trabajo.

✓ **Criterios relativos a la metalurgia**

La alimentación de las piezas se debe ubicar de tal forma que el enfriamiento se inicie en los puntos más lejanos a las mazarotas, de tal manera que en el rodete por ser una pieza simétrica, su mazarota principal se ubicaría en el centro del rodete. Los casos en que los rodetes son de diámetros grandes donde necesario la utilización de varios puntos de alimentación, se debe considerar los efectos de la turbulencia en la fundición.

En el proceso de fundir una pieza como una turbina de cucharas y rodete en un solo conjunto, se solicita la utilización de machos en los cuales se evita la generación de paredes con ángulos agudos, debido al origen de rechupes y porosidades por el recalentamiento de paredes por largos tiempos.

En Búsqueda de mantener un equilibrio entre costos y facilidades de fabricación, y además garantizar una rueda pelton de alta eficiencia, se selecciona la siguiente relación. Dado que con esta relación se garantiza tener una relación de transmisión mecánica estandarizada de 2.5

Valor tomado. $\frac{d_{\text{chorro}}}{D_p} = \frac{1}{14}$

Por tanto tenemos para esta relación:

$$D_p = 14 * d_{\text{chorro}}$$

$$D_p = 0.245[m] = 245[mm]$$

$$n = \frac{360.6}{D_p} = 1472 [rpm]$$

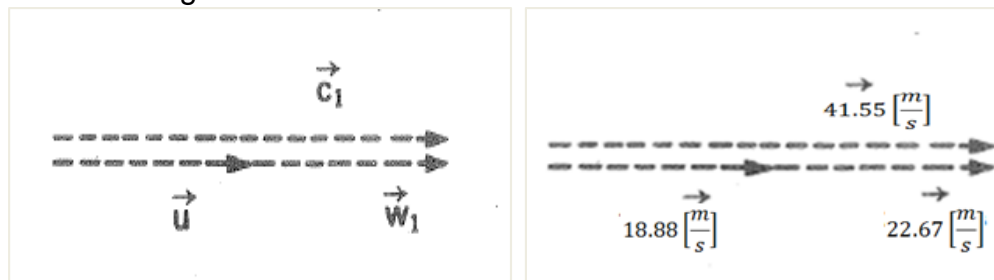
Por tanto se tiene una velocidad específica de:

$$N_s = n \times \frac{Pot^{1/2}}{H^{5/4}} = 1472 * \frac{9.55^{1/2}}{89.78^{5/4}}$$

$$N_s = 16.5$$

5.4.1.2 Triangulo de velocidades a la entrada

Figura 78. Triangulos de velocidades a la entrada



Fuente: Autores

Velocidad absoluta

Salida de la tobera - entrada a la cuchara.

$$C_1 = 41.55 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidad tangencial

$$U_1 = 18.88 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidad Relativa

Es la diferencia vectorial entre la velocidad absoluta y la velocidad tangencial.

$$W_1 = C_1 - U_1$$

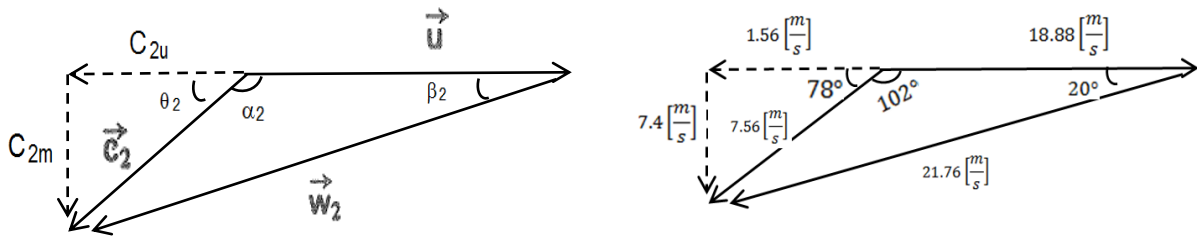
Como las velocidades están en la misma dirección la ecuación vectorial se deduce a una ecuación escalar.

$$W_1 = C_1 - U_1$$

$$W_1 = 22.67 \left[\frac{m}{s} \right]$$

5.4.1.3 Triangulo de velocidades a la salida

Figura 79. Triangulo de velocidades a la salida



Fuente: Autores

Velocidad tangencial

La velocidad tangencial a la salida del alabe de la turbina pelton, es igual a la velocidad a la entrada, ya que el punto de entrada y de salida están sobre el mismo radio de giro.

$$U_2 = U_1 = 18.88 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidad Relativa

$$W_2 = K_f * W_1$$

Dónde:

$K_f = 0.96$: Coeficiente de velocidad Relativa³⁸ por efecto de fricción, este valor oscila en el rango de 0.96 a 0.98, Para este caso se tomó 0.96, debido a la dificultad para realizar un acabado superficial perfecto.

Velocidad absoluta

Puede ser expresada de manera vectorial como:

$$C_2 = U_2 + W_2$$

$$C_{2m} = W_2 \cdot \sin(\beta_2)$$

$$U_2 + C_{2u} = W_2 \cdot \cos(\beta_2)$$

$\beta_2 = 20^\circ$: Se tomó este valor a fin de evitar el choque del chorro a la salida de la cuchara con la cara convexa de la cuchara procedente.

$$C_2 = \sqrt{C_{2m}^2 + C_{2u}^2}$$

Remplazando valores tenemos:

$$W_2 = 21.76 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$C_{2m} = 7.4 \left[\frac{m}{s} \right]$$

³⁸ II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4

$$C_{2u} = 1.56 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$C_2 = 7.56 \left[\frac{m}{s} \right]$$

5.4.1.4 Calculo de las RPM de la Turbina

El cálculo de las RPM de la turbina se basa en el concepto de velocidad angular, donde se determina que la velocidad tangencial en un movimiento circular uniforme es igual al producto de la velocidad angular por el radio de giro. $v = w r$. Reescribiendo se tiene.

$$U_2 = w \cdot \frac{D_p}{2}$$

$$18.88 = w * \frac{0.245}{2}$$

$$RPM = w \cdot \frac{30}{\pi}$$

$$w = 154.12 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Al remplazar valores se tiene.

$$RPM = 1472$$

5.4.1.5 Rendimiento Hidráulico

$$\eta_h = \frac{H_{Euler}}{H_n}$$

$$H_{Euler} = \frac{1}{g} [C_1 * U_1 * \cos(\alpha_1) - C_2 * U_2 * \cos(\alpha_2)]$$

Dónde:

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_2 = 180 - \theta_2 \dots \text{Ver triangulo de velocidades a la salida...}$$

$$\theta_2 = \arctan \left[\frac{C_{2m}}{C_{2u}} \right] \dots \text{Ver triangulo de velocidades a la salida...}$$

Remplazando valores tenemos.

$$H_{Euler} = 82.97 \text{ [mca]}$$

$$\eta_h = 0.92$$

Eficiencia Mecánica.

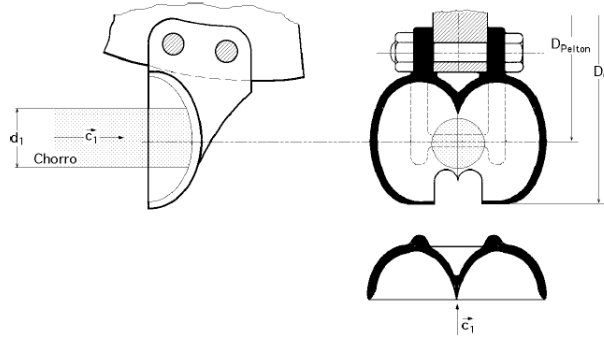
$$\eta_{Turbina} = \eta_h * \eta_{mecanica}$$

$$\eta_{mecanica} = \frac{\eta_{Turbina}}{\eta_h} = 0.87$$

5.4.1.6 Forma de la cuchara

Las dimensiones de los alabes o cucharas de una turbina pelton son proporcionales al diámetro del chorro, y se conforman por dos semielipsoides unidos, que en su unión forman una arista que divide el chorro del agua en dos partes como se muestra en la figura.

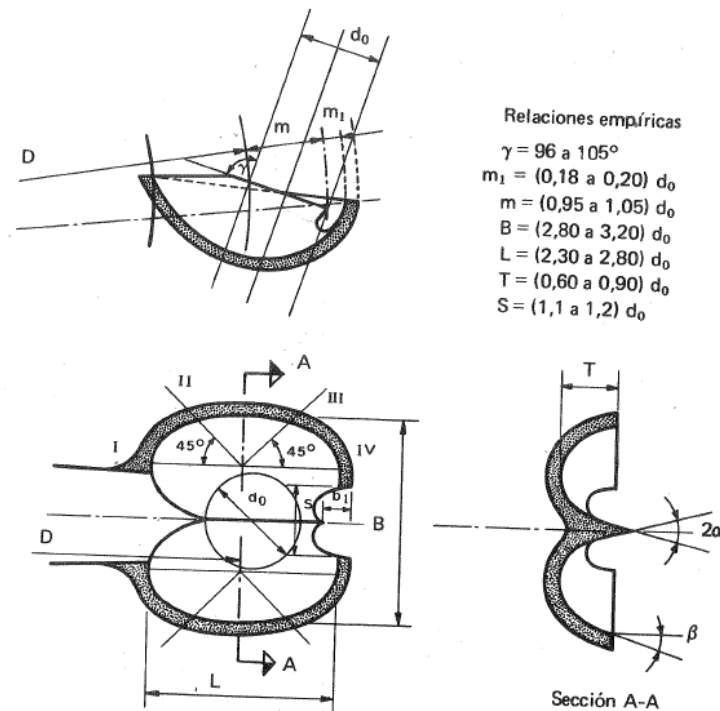
Figura 80. Forma de la cuchara



Fuente: <http://www.termica.webhop.info/>

En la siguiente figura se determinan las principales dimensiones de la cuchara normalmente utilizada en función del diámetro del chorro, válida para velocidades específicas entre 12 y 24. Para esta turbina se tiene una velocidad específica de 16.5, por tanto está dentro del rango.

Figura 81. Dimensiones de la cuchara



Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

Para este proyecto se tomaron valores Promedios y quedan definidos de la siguiente manera.

$$\gamma = 100$$

$$m_1 = 0,2 \cdot d_{\text{chorro}}$$

$$m = d_{\text{chorro}}$$

$$B = 3 \cdot d_{\text{chorro}}$$

$$L = 2,6 \cdot d_{\text{chorro}}$$

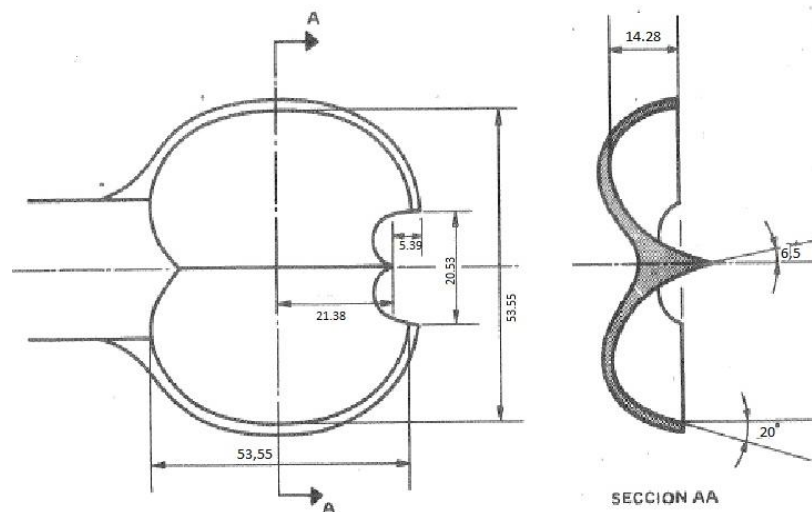
$$T = 0,8 \cdot d_{\text{chorro}}$$

$$S = 1,15 \cdot d_{\text{chorro}}$$

$$\alpha = \frac{13}{2}$$

Y reemplazando valores la cuchara queda definida con las dimensiones mostradas en la siguiente figura.

Figura 82. Dimensiones finales de la cuchara



Fuente: Autores

5.4.1.7 Determinación del número de cucharas³⁹

En la construcción de una turbina pelton de alto rendimiento es necesario conformar adecuadamente las cucharas y definir la geometría de la rueda de modo que pueda aprovecharse al máximo la energía cinética del agua. El diámetro pelton o diámetro del círculo de paso D_p y el número de cucharas, definen en gran parte la geometría de la rueda.

Determinación del paso angular de la rueda

En la determinación del ángulo entre dos cucharas consecutivas se debe minimizarse la interferencia entre el chorro y la cuchara, y se debe garantizar que todas las partículas de agua entreguen la mayor parte posible de su energía cinética a la rueda. El aprovechamiento máximo de la energía del agua puede verse desde dos puntos de vista diferentes, el primero consiste en verificar que la última partícula de agua que va a incidir sobre cada cuchara pueda deflactarse adecuadamente de modo que abandone la cuchara por su borde de descarga.

El segundo criterio busca asegurar que todo el agua que llega a la turbina se aproveche, o sea que no exista un volumen de agua que pase por la rueda sin incidir sobre alguna cuchara.

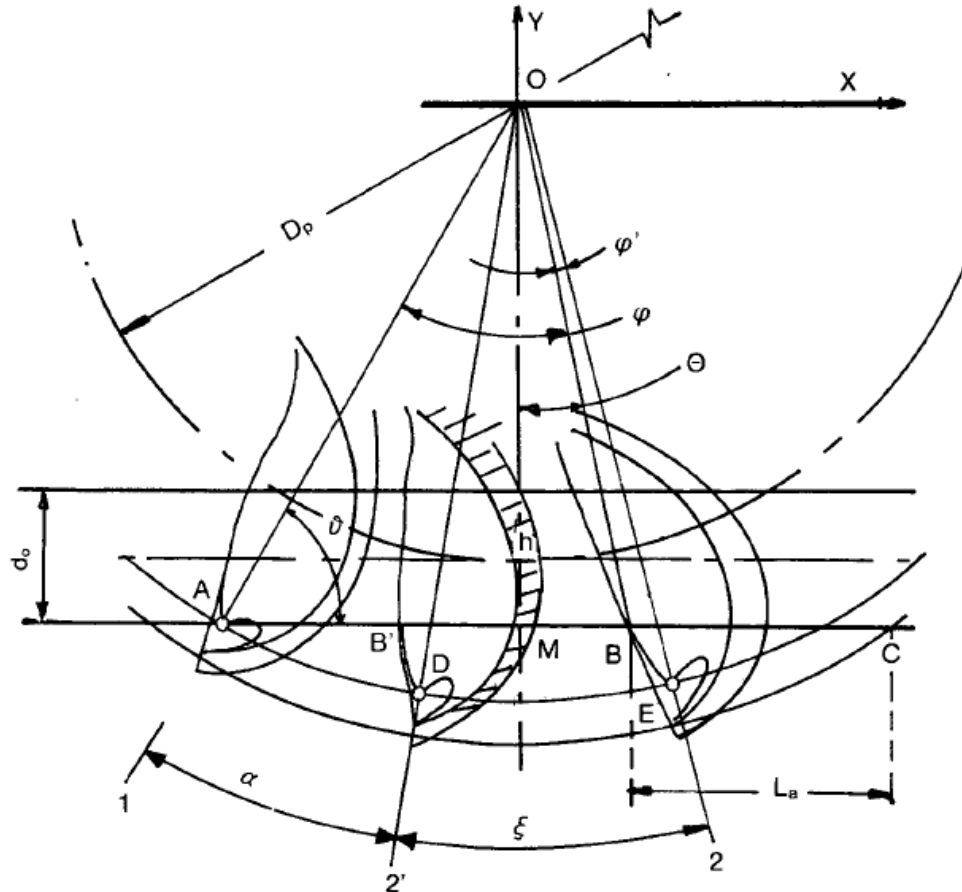
✓ **Criterio de la última partícula del chorro**

Este criterio consiste en la coincidencia en el tiempo que tarda una partícula de agua en recorrer la superficie interna de la cuchara y el tiempo que demora la cuchara en recorrer un arco de circunferencia. Una partícula de agua cede la máxima parte posible de su energía a la rueda cuando su trayectoria absoluta termina en un punto situado dentro del círculo exterior de la rueda. De acuerdo a lo anterior se considera el punto C de la Figura 83 como el punto limite en el cual

³⁹ JARAMILLO, Octavio y BAQUERO, José. Criterios para la determinación del número de cucharas en una turbina pelton. En: Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia. Diciembre 1985. No.12, p 53-58.

la última partícula de agua abandona la rueda, de tal manera que esta misma partícula debe alcanzar a la cuchara a más tardar en el punto B situado en dirección opuesta al flujo del choro.

Figura 83. Construcción del paso Angular de la Rueda

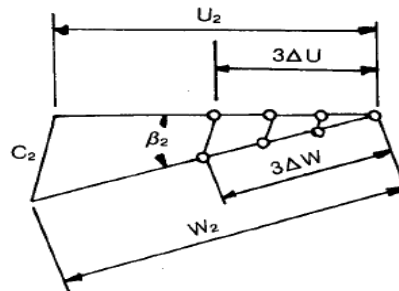


Fuente:<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/viewFile/21569/22576>

La distancia entre los puntos **B** y **C** es la proyección de la trayectoria absoluta del agua en dirección del choro.

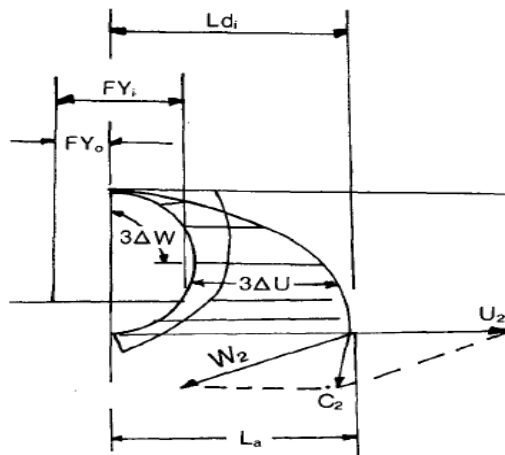
Con base a el diagrama de velocidades a la salida para una partícula (Figura 84) y a la reconstrucción de la trayectoria absoluta referida al perfil de la cuchara (Figura 85), se determina la posición de **B** con gran exactitud al encontrar la longitud L_a .

Figura 84. Triángulo de velocidades de salida para una partícula



Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/viewFile/21569/22576>

Figura 85. Formación de la trayectoria absoluta



Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingainv/article/viewFile/21569/22576>

Cada punto de la trayectoria absoluta de la partícula de agua le suma al perfil de la cuchara un segmento proporcional a la velocidad tangencial de la partícula U_2 ,

cuya proporcionalidad es la existente entre la longitud recorrida por la partícula en la superficie de la cuchara y su velocidad relativa W_2 .

Para hallar la distancia Ld_i , que es la coordenada de un punto i de la trayectoria absoluta, se emplean las siguientes expresiones.

$$LT_i = LT_{i-1} + Ls_i$$

$$Ld_i = FY_i - FY_o + \left(\frac{U_2}{W_2}\right) LT_i$$

Dónde:

Ls = Longitud del arco de cada sección del perfil de la cuchara.

LT = Longitud del arco acumulada del perfil de la cuchara.

FY = Coordenada del perfil de la cuchara.

Midiendo la longitud del arco de la sección media de la cuchara luego de su dimensionamiento tenemos:

$$LT = 42 \text{ [mm]} = 0.042 \text{ [m]}$$

$$Ld = 36.76 \text{ [mm]} = La$$

La última partícula de agua que en el punto **B** golpea la cuchara es la que al final de la entrada de la cuchara precedente en el chorro no es recogida por esta cuchara y por lo tanto está en el punto **A** (Figura 83). Antes que incida sobre la siguiente cuchara en el punto **B**, debe viajar a lo largo de la recta **AB** a la velocidad del chorro C_0 , tardando el mismo tiempo que gastaría el punto extremo **A** de la punta de la cuchara en describir una trayectoria circular a la velocidad U_A correspondiente al radio **OA**. Como ambas velocidades son constantes, la longitud

de sus trayectorias son proporcionales a sus velocidades y por lo tanto el punto A de la cuchara cubre en el tiempo t un arco de longitud:

$$\widehat{DE} = AB \left(\frac{U_A}{C_0} \right)$$

En el momento en que la partícula pasa por el punto A sin incidir sobre la cuchara 1, la cuchara 2 debe estar en la posición 2', la cual está retrasada respecto a la posición 2 un ángulo ξ determinado por el arco DE mediante la relación:

$$\xi = AB * \left[\frac{U_A}{C_0 * OA} \right] = AB * \left[\frac{w}{C_0} \right]$$

Este ángulo define el espaciamiento teórico de las cucharas α mediante las siguientes ecuaciones.

$$AB = OA * \cos \gamma + \sqrt{OC^2 - \left[OP + \frac{d_o}{2} \right]^2} - L_a$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{AB - OA * \cos \gamma}{OP + \frac{d_o}{2}} \right]$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left[\frac{OP + \frac{d_o}{2}}{OA} \right]$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \gamma + \theta - \xi$$

$$OA = \frac{D_p}{2} + m = 142.8 [mm]$$

$$OC = \frac{D_p}{2} + m + m_1 = 146.4 [mm]$$

$$OP = \frac{D_p}{2} = 124.9 \text{ [mm]}$$

$$U_A = U_2 = 18.36 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Remplazando se tiene:

$$\theta = 9.5^\circ \quad \gamma = 69.6^\circ \quad \xi = 13,28^\circ \quad \alpha = 16.58^\circ$$

Para lo cual se determina el número de cucharas N_c con la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{2\pi}{\alpha}$$

$$N_c = 21.71$$

Se aproxima al próximo entero.

$$N_{cReal} = 22$$

$$\alpha_{Real} = 16.36^\circ$$

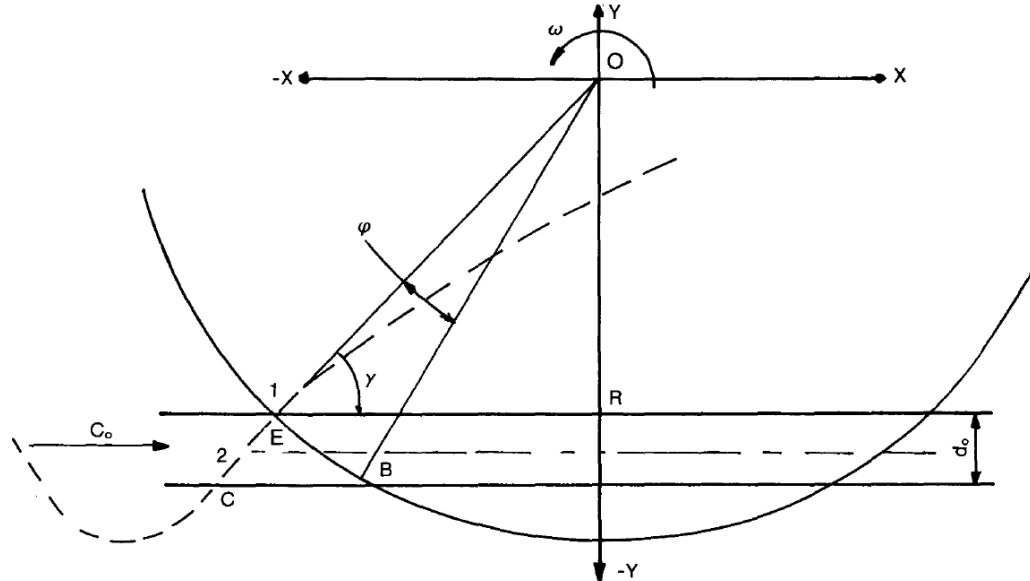
✓ **Criterio del aprovechamiento total del chorro**

En una turbina Pelton puede presentarse el caso de que una parte del chorro se desplace entre dos cucharas sin incidir en ninguna ni producir algún trabajo útil. Para averiguar si se produce esta situación se trazan las trayectorias relativas de la rueda respecto al chorro para la punta de la arista de entrada de dos cucharas adyacentes.

Para encontrar una expresión que describa el movimiento relativo de la rueda respecto al chorro, se considera que la rueda gira a una velocidad angular w mientras el chorro se desplaza con movimiento rectilíneo hacia la rueda con una uniforme C_0 . Tomando un sistema de coordenadas rectangulares con origen en el

eje de la rueda e igualando el tiempo en que la punta de la cuchara (punto 1 en la figura) se desplaza un ángulo ϕ , con el tiempo en que la partícula de agua (punto 2) viaja horizontalmente hasta encontrarse con la cuchara en B desde una posición C ubicada a la izquierda de B (...Ver Figura 86...) se tiene.

Figura 86. Movimiento de la rueda respecto al chorro



Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinvt/article/viewFile/21569/22>
576

$$t = \frac{\phi}{\omega} = \frac{CB}{C_0}$$

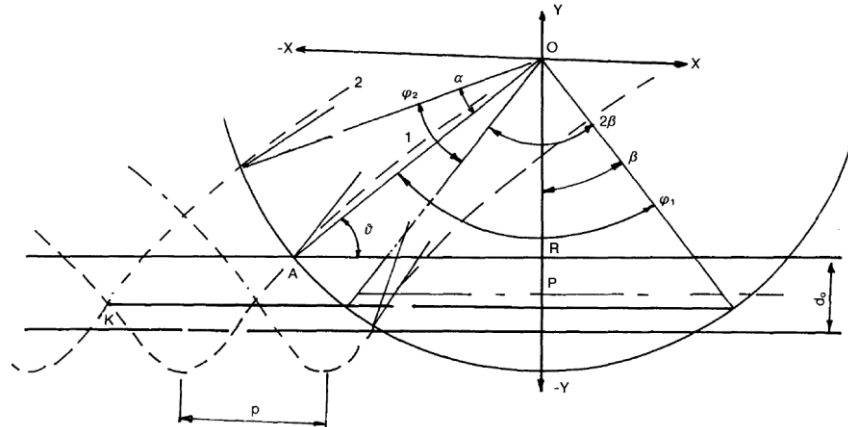
Expresión paramétrica de la trayectoria relativa de la rueda respecto al chorro.

$$X = -OA \cdot \cos(\gamma + \phi) - C_0 \cdot \frac{\phi}{\omega}$$

$$Y = -OA \cdot \sin(\gamma + \phi)$$

En la figura 87 se indican las trayectorias relativas respecto al chorro para la punta de la arista de entrada de dos cucharas vecinas.

Figura 87. Trayectorias relativas de dos cucharas vecinas



Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/viewFile/21569/22>
576

$$\gamma = \arcsin \left[\frac{\frac{D_p}{2} - \frac{d_{\text{chorro}}}{2}}{OA} \right]$$

Expresiones paramétricas de la trayectoria relativa de la rueda respecto al chorro, para la cuchara 1.

$$X_1 = -OA \cdot \cos(\gamma + \phi_1) - C_0 \cdot \frac{\phi_1}{w}$$

$$Y_1 = -OA \cdot \sin(\gamma + \phi_1)$$

Expresiones paramétricas de la trayectoria relativa de la rueda respecto al chorro, para la cuchara 2.

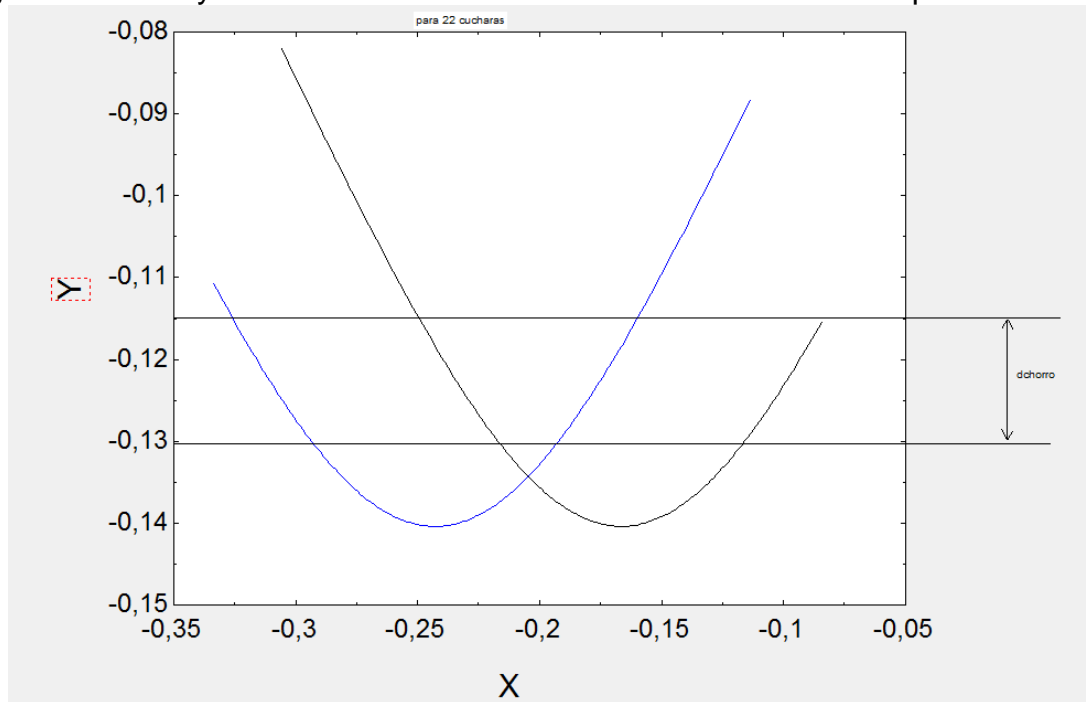
$$X_2 = -OA \cdot \cos(\gamma - \alpha_{\text{paso;real}} + \phi_2) - C_0 \cdot \frac{\phi_2}{w}$$

$$Y_2 = -OA \cdot \sin(\gamma - \alpha_{\text{paso;real}} + \phi_2)$$

Si el punto de intersección K de estas dos trayectorias se encuentra por debajo de filamento inferior del chorro, entonces la totalidad del agua pasará por la rueda incidiendo sobre alguna cuchara y no se perderá ninguna parte del volumen para cada cuchara.

Para la rueda pelton de este proyecto se tienen las siguientes trayectorias relativas:

Figura 88. Trayectorias relativas de dos cucharas vecinas rueda pelton

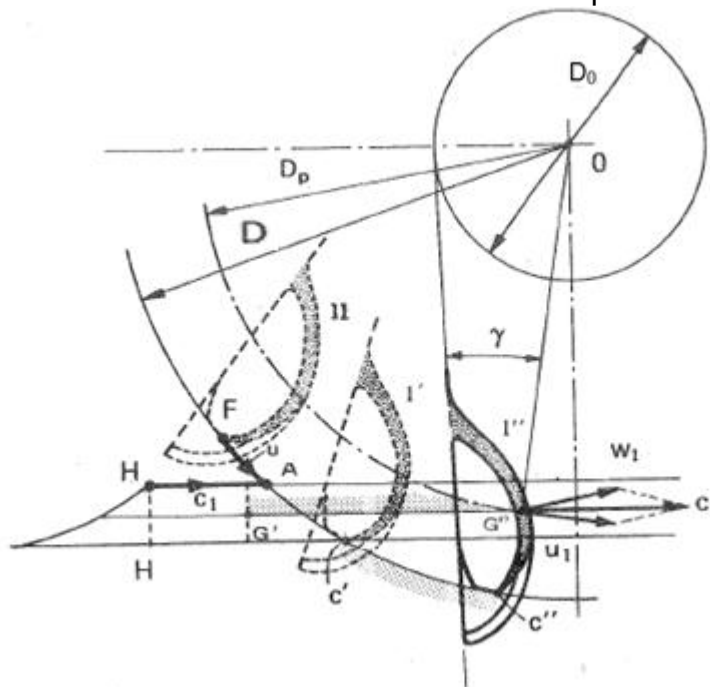


Fuente: Autores

5.4.1.8 Orientación de las cucharas⁴⁰

Para definir la orientación de las cucharas en el rodete se debe garantizar la perpendicularidad entre el chorro y la arista del borde central de la cuchara en el punto en el que esta recibe el chorro pleno. Esta orientación se puede determinar por medio de una ecuación empírica que define el diámetro D_o de una circunferencia con centro en el eje de la rueda, cuyas tangentes determinan la orientación de las cucharas.

Figura 89. Orientación de las Cucharas en la rueda pelton



Fuente: MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

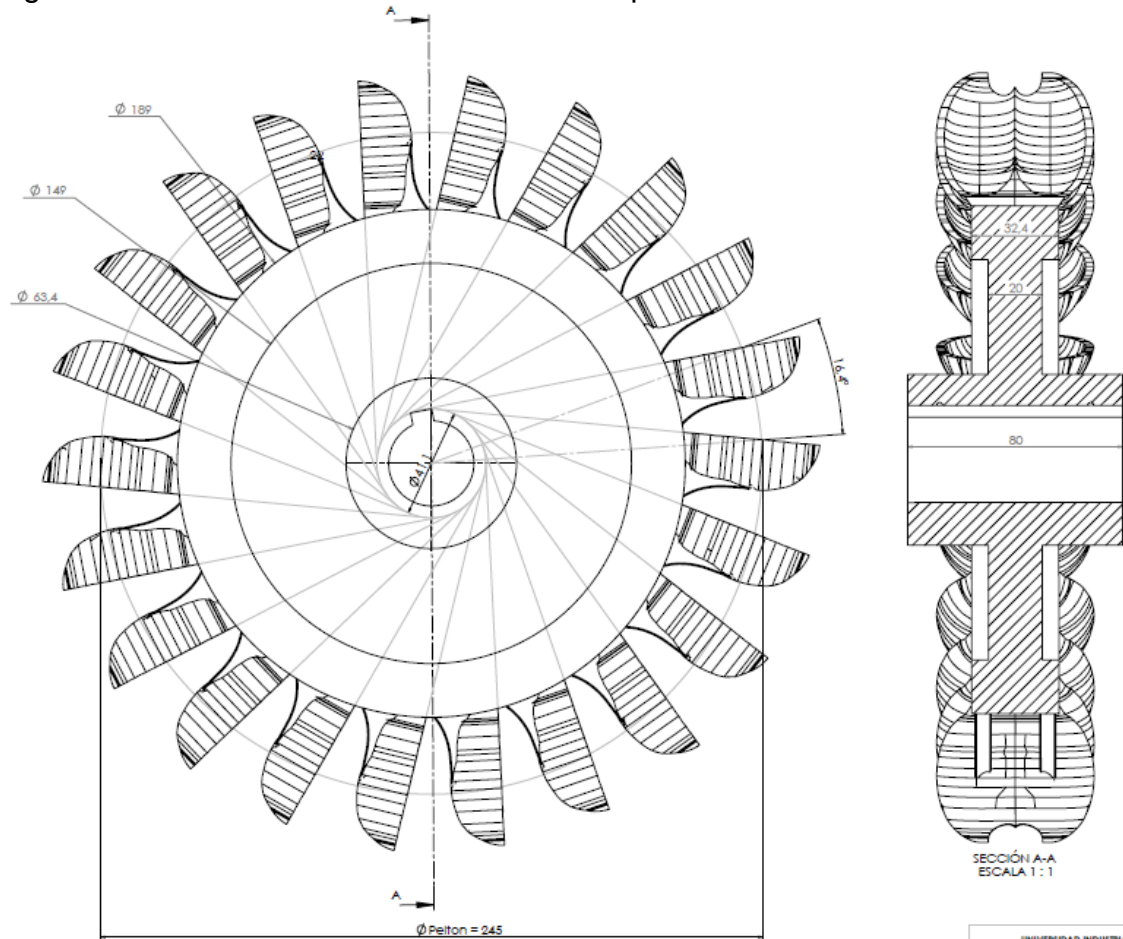
$$\frac{D_o}{D_p} = \frac{\left[5.3 - 0.12 * \left[\frac{D_p}{d_{\text{chorro}}} \right] \right]}{Z_{\text{Real}}}$$

Remplazando valores se tiene.

⁴⁰ II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4

$$D_o = 41.12 \text{ [mm]}$$

Figura 90. Dimensiones finales del rodete pelton



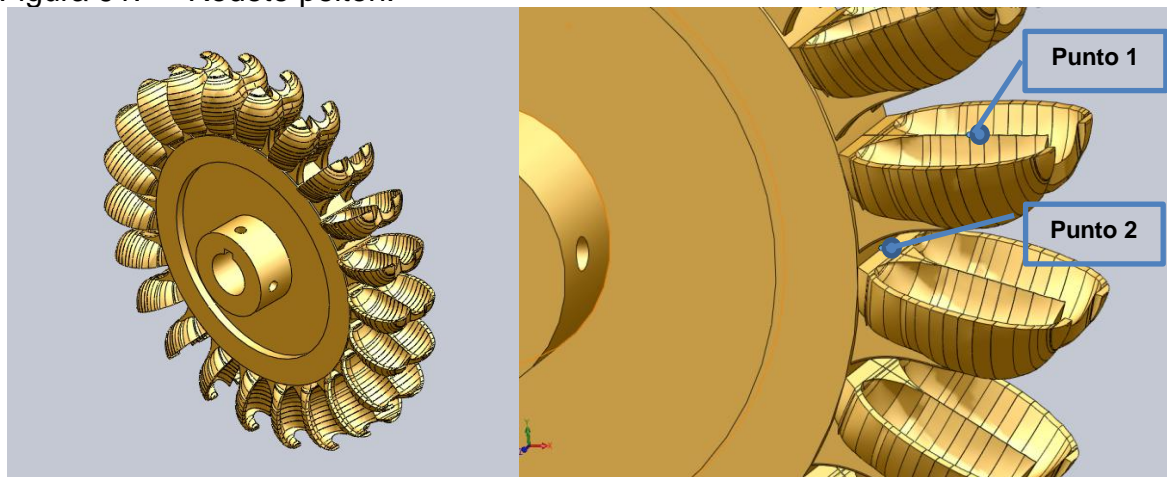
Fuente: Autores.

5.4.2 Diseño Mecánico de la Turbina Pelton

Después de tener las dimensiones arrojadas en el diseño hidráulico se procede a evaluar la resistencia mecánica de sus componentes y la determinación de los factores de seguridad con los que trabajaran cada elemento.

5.4.2.1 Diseño del Rodete

Figura 91. Rodete pelton.

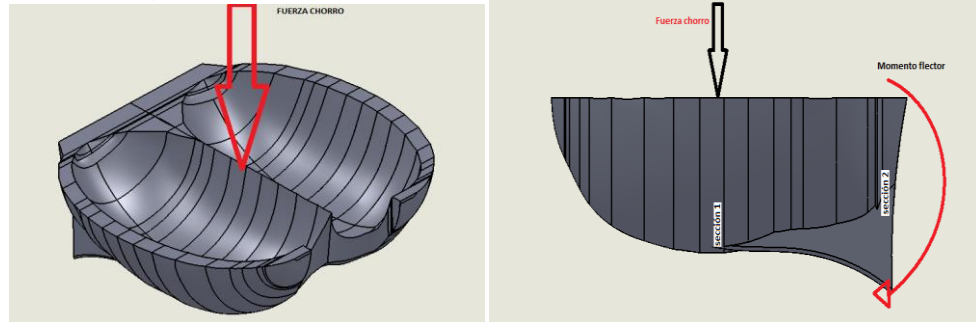


Fuente: Autores.

Análisis de fatiga en la cuchara.

En el análisis mecánico del rodete se tienen en cuenta dos puntos críticos, el Punto 1, ubicado en el diámetro Pelton, punto en el cual es aplicado el chorro, y el Punto 2, en el cual está sentada la cuchara en el disco rodete, donde se atribuyen los esfuerzos flexión originados por el chorro, y las cargas a tensión originadas por las fuerza centrífugas en el caso de embalamiento. El análisis está dirigido al estudio de las cargas cíclicas que sufren las cucharas al pasar por el chorro.

Figura 92. Cargas en las cucharas



Fuente: Autores

Límite de resistencia a la fatiga

Para determinar el límite de la fatiga, partimos inicialmente seleccionando el material del cual estará hecho el rodete.

Las características bajo las cuales es favorecido el diseño de la turbina son las siguientes: alta resistencia a la rotura, resistencia a la corrosión, buen manejo de vibraciones, alta densidad, apto para proceso de fundición y de fácil acceso en el mercado, viabilidad para procesos de mecanizados.

Asumiendo las características del diseño el material predilecto es:

Material de trabajo: hierro gris ASTM-20

$$S_{ut} = 22 \text{ Kpsi} = 151684654 \text{ Pa}$$

$$S_{uc} = 572264831 \text{ Pa} = 83 \text{ Ksi}$$

Cálculos para límite a la fatiga:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut}, \text{ para flexión y condicion de vida infinita.}$$

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} = 11 \text{ Kpsi} = 75842327 \text{ Pa}$$

$K_a = \text{factor de superficie}$

$$K_a = e * S_{ut}^f$$

Dónde:

e y f Son parámetros del factor de la condición superficial, definidos en la siguiente tabla.

Tabla 17. coeficientes de procesos de manufacturas

Proceso de manufactura	Factor e		Exponente f
	MPa	ksi	
Esmerilado	1.58	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	2.70	-.265
Laminado en caliente	57.7	14.4	-.718
Ninguno (como sale de forja)	272.0	39.9	-.995

Fuente: Elementos de Máquinas. Bernard J. Hamrock.

$$K_a = 1$$

$K_b = \text{factor de tamaño}$

$$K_b = 1.189 * d^{-0.112}$$

Partiendo de que el área no es circular, se realiza el cálculo del diámetro equivalente según shigley⁴¹.

$$d_e = 0.808 * (A_2)^{0.5} = 19.31 \text{ mm}$$

⁴¹ BUDYNAS, Richard G y NISBETT, J Kieth. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª. Ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1059 p

$$K_b = 1.189 * (19.31)^{-0.112} = 0.85$$

$$K_c = \text{factor de confiabilidad} = 0,9$$

Tabla 18. Factores de confiabilidad por probabilidad de sobrevivencia

Probabilidad de sobrevivencia, porcentaje	Factor de confiabilidad, k_r
50	1.00
90	.90
95	.87
99	.82
99.9	.75
99.99	.70

Fuente: Elementos de Máquinas. Bernard J. Hamrock.

$$K_d = \text{factor de temperatura} = 1$$

K_e , factor de efectos diversos, considerando procesos de maquinado, y

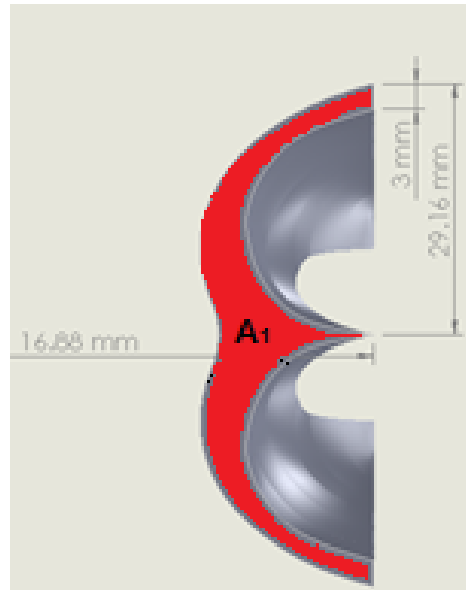
efectos residuales del proceso de fundicion $K_e = 0.5$

$$S_e = (1) * (0.85) * (0.9) * (1) * (0.5) * S'_e$$

limite de fatiga, $S_e = (29009690.08 \text{ Pa}) = 295.815 \text{ Kg/cm}^2$

Área de la sección transversal de la cuchara en el diámetro Pelton

Figura 93. Análisis sección 1



Fuente: Autores

En la sección 1 se realiza el análisis por carga estática y cíclica en aquella porción de cuchara que está sometida a la fuerza centrífuga generada por turbina en caso de velocidad de embalamiento, además se considera la acción de la fuerza del chorro en este punto crítico. Con la ayuda de Solid Works se encuentra el área de la sección 1

$$A_1 = 334.86 \text{ mm}^2$$

Para lo siguiente consideramos los esfuerzos normales que ocasionan estas circunstancias.

$$\sigma_{normal_{centrifuga}} = \frac{S_{ut}}{n_s} = \frac{F_{centrifuga_{cuchara}}}{A_1}$$

$$F_{centrifuga_{cuchara}} = m_{cuchara} * w_{embalamiento}^2 * r$$

$$F_{centrifuga\cuchara} = \rho_{fundicion\ gris} * vol * w_{embalamiento}^2 * \frac{D_{pelton}}{2}$$

$$F_{centrifuga\cuchara}$$

$$= (7.5 * 10^{-3} Kg/cm^3) * (16.71404 cm^3) * \left(293.21 \frac{rad}{seg}\right)^2 * \frac{0.246 m}{2}$$

$$F_{centrifuga\cuchara} = 1325.62 N$$

$$\sigma_{normalcentrifuga} = \frac{F_{centrifuga\cuchara}}{A_1} = \frac{1325.62 N}{3.3486 * 10^{-4} m^2}$$

$$\sigma_{normalcentrifuga} = 3958729.021 Pa = 3.959 MPa$$

$$n_s = \frac{S_{ut}}{\sigma_{normalcentrifuga}} = \frac{151684654 Pa}{3958729.021 Pa}$$

$$n_s = 38.31$$

Análisis por carga cíclica de la sección 1

Esfuerzos cortantes.

$$\tau_{max} = \frac{F_{chorro}}{A_1} = \frac{434.3 N}{3.3486 * 10^{-4} m^2}$$

$$\tau_{max} = 1296959.92 Pa$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{max}}{2}$$

$$\tau_m = \tau_a = 648479.96 Pa$$

Factor de seguridad.

Ya teniendo el valor de límite de fatiga, se puede calcular el factor de seguridad de la sección crítica 1 en la cual se tiene en cuenta la curva de fatiga de materiales frágiles.

$$n_s = \frac{S_e}{K_c * \tau_a * \left(1 + \frac{S_{ut}}{S_{uc}}\right)}$$

$$n_s = 35.3$$

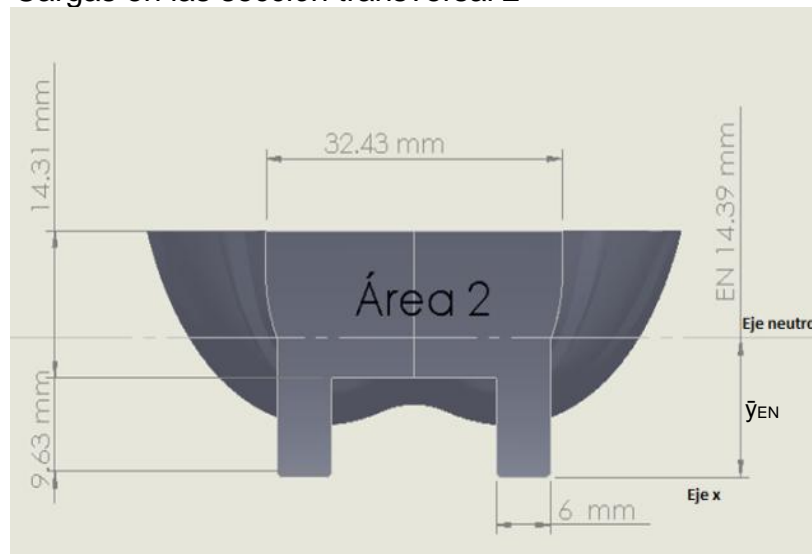
Área de sección transversal de la cuchara en el asiento al rodete

Análisis del Punto 2.

$$A_2 = 571.3 \text{ mm}^2$$

Momentos de inercia en la sección transversal 2

Figura 94. Cargas en las sección transversal 2



Fuente: Autores

Se calculan los momentos de inercia con respecto al eje x, por el método de STEINER.

$$I_{EN} = \sum I_{CG} + \sum A * \bar{Y}^2$$

$$\bar{Y}_{EN} = \frac{\sum(A * \bar{Y})}{\sum A}$$

Dónde:

I_{EN} = Momento de inercia de área respecto al eje neutro.

I_{CG} = Momento de inercia de cada área.

\bar{Y} = Distancia del eje neutro al centro de gravedad de cada área.

$$\bar{Y}_{EN} = \frac{2 * (9.63 * 6) * (4.815) + (32.43 * 14.31) * (16.78)}{2 * (9.63 * 6) + (32.43 * 14.31)}$$

$$\bar{Y}_{EN} = 14.39 \text{ mm}$$

Calculo del momento de inercia en cada área:

$$I_{CG} = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_{CG} = \frac{2 * 6 * 9.63^3}{12} + \frac{32.43 * 14.31^3}{12}$$

$$I_{CG} = 8812.32 \text{ mm}^4$$

$$\sum A * \bar{Y}^2 = (2 * (9.63 * 6) * (4.815)^2) + (32.43 * 14.31) * (2.39)^2$$

$$\sum A * \bar{Y}^2 = 2679.17 + 2650.8$$

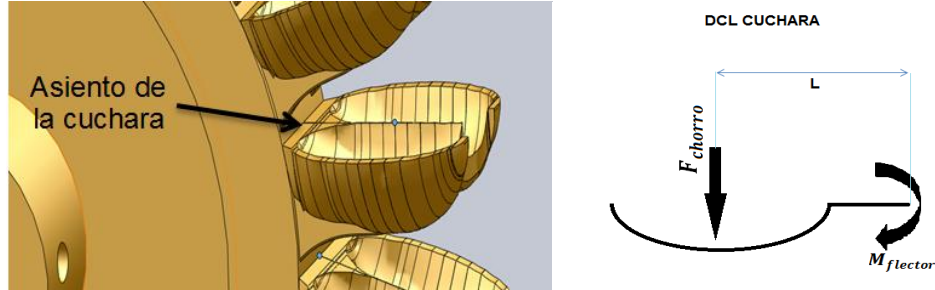
$$\sum A * \bar{Y}^2 = 5330 \text{ mm}^4$$

$$I_{EN} = \sum I_{CG} + \sum A * \bar{Y}^2 = 8812.32 + 5330$$

$$I_{EN} = 14142.32 \text{ mm}^4 = 1.41 \text{ cm}^4$$

Calculo de esfuerzos en el asiento de la cuchara

Figura 95. Fuerzas en el asiento de la cuchara



Fuente: Autores

Cálculos de esfuerzos cortantes

τ_{\max} se calcula partiendo de la reacción producida en la sección empotrada de la cuchara en el disco del rodete, a causa de la fuerza que ejerce el chorro.

$$F_{\text{chorro}} = \frac{\gamma * Q}{g} * (C_1 * \cos(\alpha_1) - C_2 * \cos(\alpha_2))$$

$$F_{\text{chorro}} = 434.3 \text{ N}$$

✓ Análisis por carga cíclica:

$$\tau_{\max} = \frac{F_{\text{chorro}}}{A_2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{434.3 \text{ N}}{5.713 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 760196.04 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\max} = 760.19604 \text{ KPa} = 110.25 \text{ psi} = 7.75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{max}}{2}$$

$$\tau_m = \tau_a = 380098.02 \text{ Pa} = 55.125 \text{ psi} = 3.87 \text{ Kg/cm}^2$$

Cálculos de momento flector:

Se tienen en cuenta los esfuerzos por flexión, ocasionados por el chorro en el asiento de la cuchara.

$$M_{flector \ max} = F_{chorro} * L$$

$$M_{flector \ max} = (434.3 \text{ N}) * (26.28 * 10^{-3} \text{ m})$$

$$M_{flector \ max} = 11.41 \text{ N} * \text{m} = 114.1 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{flector \ max} * \bar{Y}_{EN}}{I_{EN}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{(11.41 \text{ N} * \text{m}) * (14.39 * 10^{-3} \text{ m})}{1.41 * 100^{-4} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 11644673.76 \text{ Pa} = 118.74 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzos de flexión:

Como se puede observar dentro del funcionamiento de la turbina, existe la presencia de esfuerzos alternantes y medios, bajo la condición de carga cíclica en la cuchara, lo que en el estado de funcionamiento se vería en la cuchara, como la acción del chorro sobre la superficie la misma por una fracción de tiempo.

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = 5822336.87 \text{ Pa} = 59.37 \text{ Kg/cm}^2$$

Aplicando la teoría de superposición de esfuerzos planteado por VON MISSES, se obtienen los esfuerzos equivalentes.

$$\sigma_{a\text{equi}} = \sqrt{(K_{ff} * \sigma_a)^2 + 3 * (K_{fc} * \tau_a)^2}$$

$$\sigma_{m\text{equi}} = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3 * (\tau_m)^2}$$

$$k_{ff} = q * (K_t - 1) + 1$$

factor de concentracion de esfuerzos $k_{ff} = 1$,
 $K_c = 1$, *debido a la no presencia de discontinuidad*

$$\sigma_{a\text{equi}} = \sigma_{m\text{equi}} = 5859439.405 \text{ Pa} = 5.859 \text{ MPa}$$

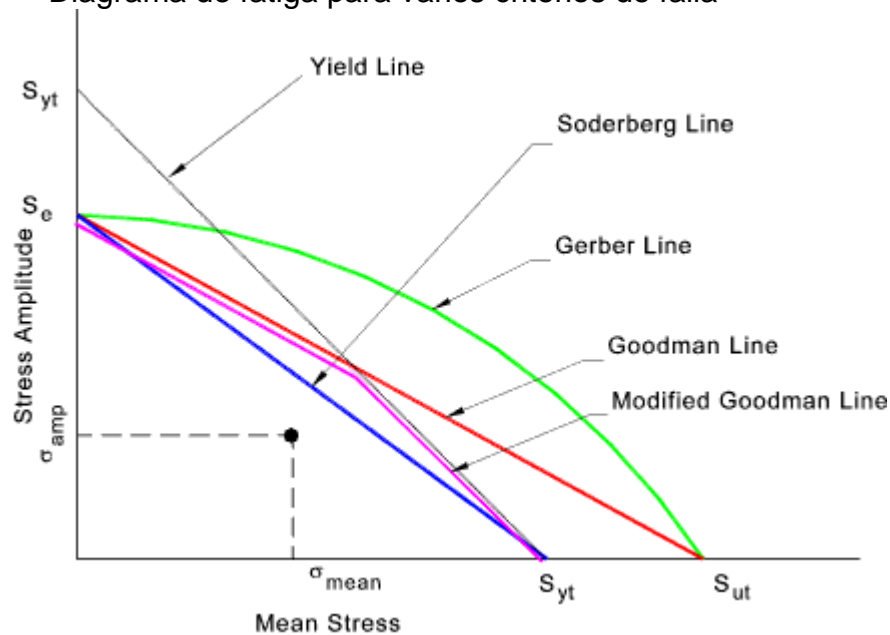
Coeficiente de seguridad

Según la curva de Goodman, en la cual se establece el comportamiento de metales a condición de fatiga, tenemos:

$$\frac{1}{n_s} = \frac{\sigma_{a\text{equi}}}{S_e} + \frac{\sigma_{m\text{equi}}}{S_{ut}}$$

$$n_s = 4.15$$

Figura 96. Diagrama de fatiga para varios criterios de falla



Fuente: <http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm>

Considerando que trabajamos con materiales frágiles, y bajo la condición de un esfuerzo cortante alternante y un límite de fatiga modificado tenemos que:

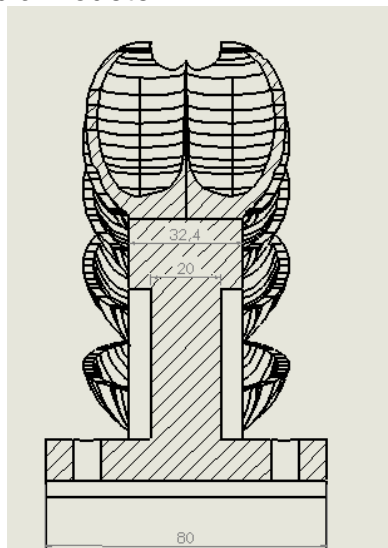
$$n_s = \frac{S_e}{K_c * \tau_a * \left(1 + \frac{S_{ut}}{S_{uc}}\right)}$$

$$n_s = 60.33$$

Como se puede observar en cada uno de los puntos en estudio se obtienen valores de factores de seguridad altos, los cuales son recomendados para condiciones de carga cíclica para vida infinita, y la acción de factores diversos como la erosión, corrosión, y procesos de maquinados a los cuales se someterá la cuchara.

Como se puede observar en el análisis CAE realizado en Solidworks (Figura 98), los mayores esfuerzos en la cuchara están dirigidos hacia la parte media inferior de la misma, aunque en estos puntos aún se conserva un factor de seguridad elevado y similar al calculado anteriormente.

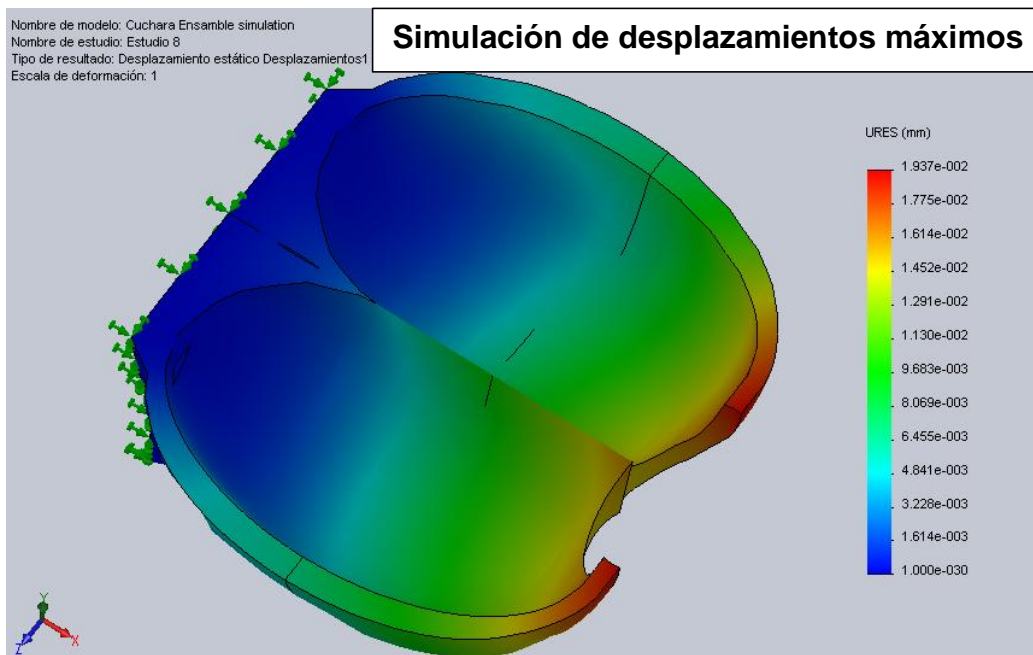
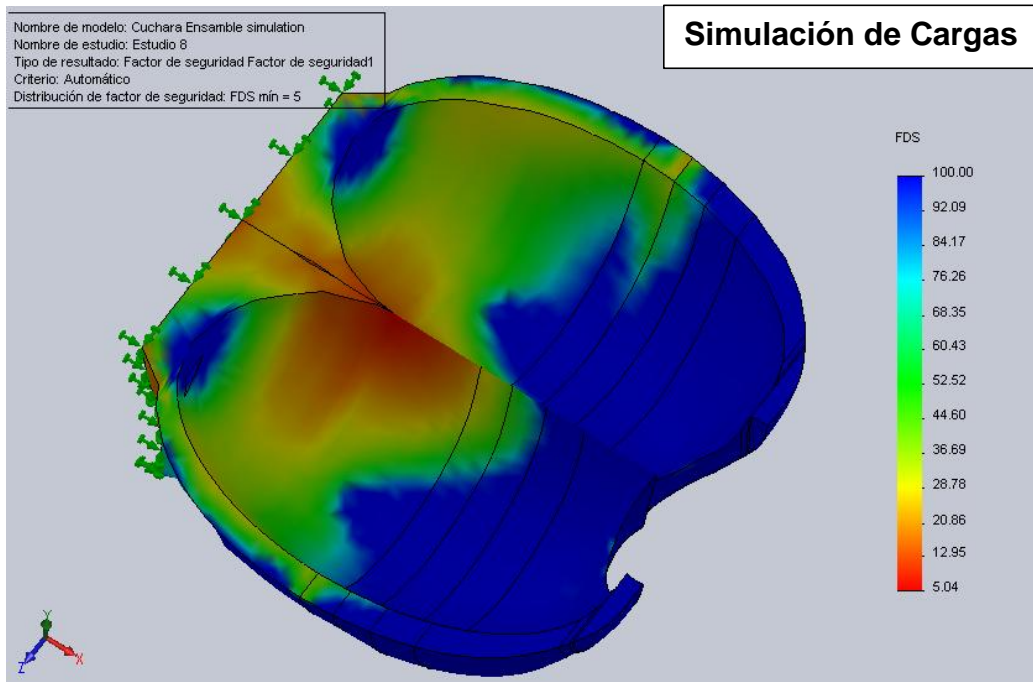
Figura 97. Vistas de sección rodete



Fuente: Autores

Simulación de cargas en Solidworks.

Figura 98. Analisis CAE de la cuchara

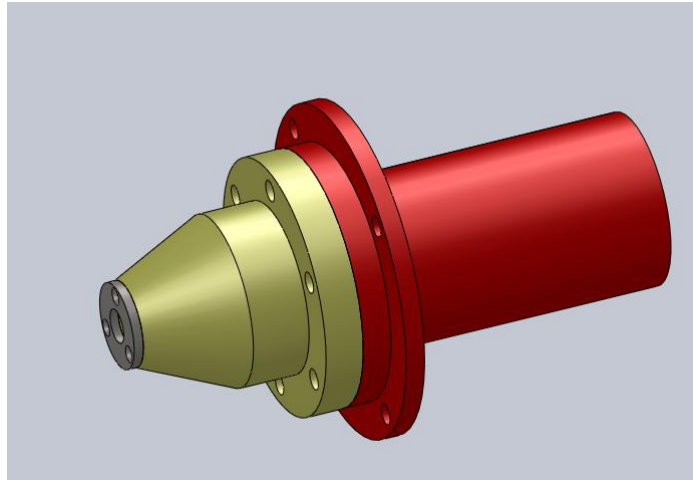


Fuente: Autores

5.4.2.2 Diseño del inyector

El inyector de una turbina pelton es el equipo que se encarga de transformar la energía hidráulica de presión en energía hidráulica de velocidad. Consta de un tramo cilíndrico recto y una tobera.

Figura 99. Inyector

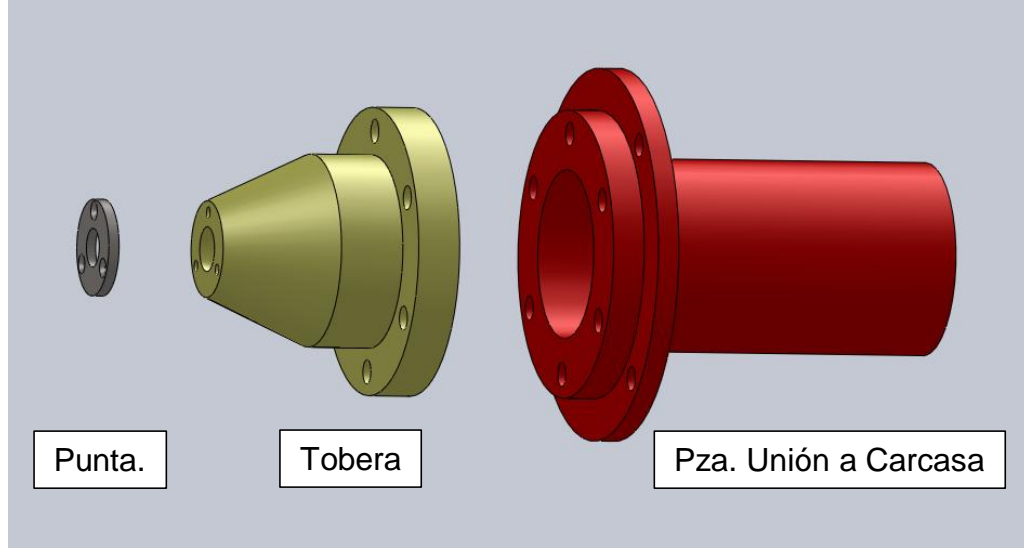


Fuente: Autores

En la tobera se tiene lugar a una fuerte aceleración y si el agua transporta arena, la erosión suele ser muy elevada y es posible se deterioren las partes del inyector rápidamente. En el caso de filtrarse algún elemento sólido en las obras de captación, estos taponarían la salida de agua y deberá desmontarse la tobera.

Para realizar el desmontaje de la tobera de manera más práctica se aperna a la tobera en forma de brida, y para amortiguar los efectos erosivos a la salida del chorro se construye en acero inoxidable 304 la tunta de la tobera, que igualmente se aperna al cuerpo de la tobera.

Figura 100. Partes del inyector



Fuente: Autores

Dimensionamiento de la tobera

En el dimensionamiento de la tobera se tiene en cuenta el diámetro de la válvula de bloque, el diámetro del chorro, el coeficiente de contracción y se busca que la salida del chorro quede lo más próxima posible al rodete al fin de evitar distorsión de la forma cilíndrica del chorro.

Diámetro de salida de la tobera.

El diámetro del chorro corresponde al diámetro de la vena contracta, al considerar los efectos de contracción se determina el diámetro de la salida del inyector. Estos efectos se cuantifican por el coeficiente de contracción, que representa la relación entre el área del chorro y el área del orificio de salida del inyector.

$$C_c = \frac{A_{\text{chorro}}}{A_0} = \frac{d_{\text{chorro}}^2}{d_0^2}$$

Dónde:

C_c = Coeficiente de Contracción.

d_{chorro} = Diámetro del chorro = 17.5 mm

d_0 = Diámetro de la salida de la tobera

$C_c = 0.63$...Ver Numeral 5.4.1.1...

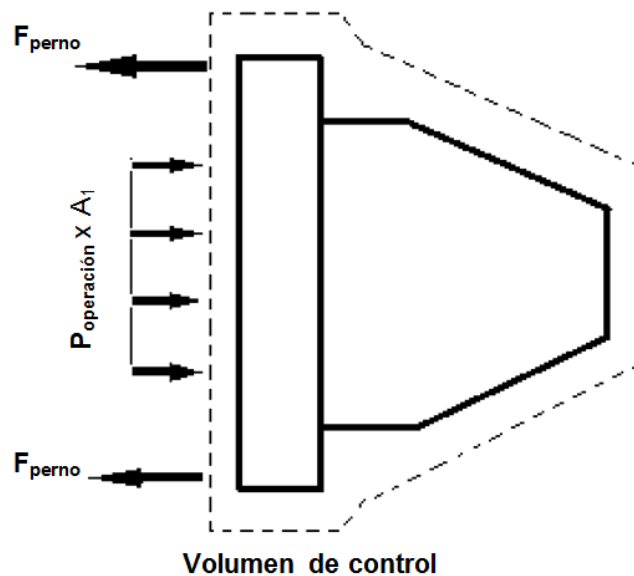
Por tanto el diámetro de la salida del inyector es:

$$d_0 = \frac{d_{chorro}}{\sqrt{C_c}} = \frac{17.5}{\sqrt{0.62}} = 22 \text{ [mm]}$$

Fuerzas en la tobera

La tobera en funcionamiento está sometida a la presión que le ejerce el agua y la fuerza opuesta que le transmiten los n pernos. Para calcular esta fuerza, se considera el volumen de control que abarca la tobera.

Figura 101. Diagrama de Fuerzas en La Tobera



Fuente: Autores

$$\#Pernos * F_{perno} = P_{operacion} * A_1$$

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

$$D_1 = 75.8 \text{ mm} = 0.0758 \text{ m}$$

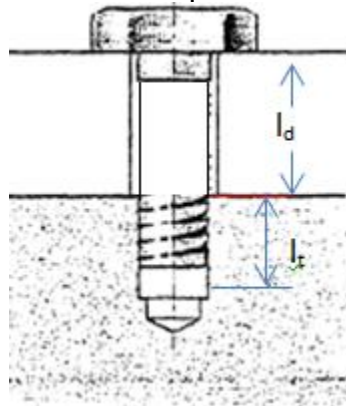
$$A_1 = \frac{\pi 0.0758^2}{4} = 4.51 \times 10^{-3} [\text{m}^2]$$

$$P_{operacion} = 127.33 [\text{psi}] = 877909.5 [\text{pascales}]$$

$$F_{totalpernos} = 877909.5 [\text{pascales}] * 4.51 \times 10^{-3} [\text{m}^2] = 3959.4 [\text{N}] = 0.890 \text{ Kip}$$

Una vez encontradas la fuerza total en el perno se propone la disposición de pernos de 3/8 in en acero inoxidable. Para la condición se presenta la disposición siguiente.

Figura 102. Datos dimensionales de los pernos



Fuente: Autores

La junta está hecha de hierro fundido, ASTM-20, con lo cual se dispone para el tornillo una longitud de $\frac{3}{4}$ in de agarre.

$l_t = \frac{3}{4}$ in, longitud roscada en el agarre , $l_d = \frac{3}{4}$ in, parte util sin rosca.

$$A_t = 0.0775 \text{ in}^2 \text{ area a tension de un tornillo de } d_{su} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

$$A_d = \frac{(\pi * d_{su}^2)}{4} = 0.11 \text{ in}^2$$

Con estos valores se procede a encontrar la rigidez del tornillo, y de los elementos a sujetar. Teniendo en cuenta que el módulo de rigidez para el acero es de 30 Kpsi.

$$K_{b-su} = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} = 1.81 \text{ Mlbf/in}$$

$$K_{m-su} = \frac{0.5774 * \pi * E * d_{su}}{2 * \ln(5 * \frac{0.5774 * l + 0.5 * d_{su}}{0.5774 * l + 2.5 * d_{su}})} = 5.828 \frac{\text{Mlbf}}{\text{in}}$$

Con estos dos valores se encuentra la constante de rigidez Crig.

$$C_{rig} = \frac{K_{b-su}}{K_{m-su} + K_{b-su}} = 0.236$$

En los sistemas de sujeción no permanentes se emplea un valor de precarga equivalente a⁴².

$$F_{preca} = 0.9 * A_t * S_p = 2.37 \text{ Kip}$$

$$S_p = 0.85 S_{y-su} = 0.85 * 40 \text{ Kpsi} = 34 \text{ kpsi},$$

Los pernos empleados en la junta son de acero inoxidable 304, de Sy =40 Kpsi.

Con el valor de precarga y la carga en los pernos se conoce le factor de seguridad para una disposición de 6 pernos.

⁴² BUDYNAS, Richard G y NISBETT, J Kieth. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª. Ed. México: McGraw-Hill, 2008. p 427.

$$n_{junta} = \frac{S_p * A_t - F_{preca}}{C_{rig} * \frac{F_{totalpernos}}{N_{pernos}}} = 7.56$$

Como se observa el factor de seguridad es un bastante conservativo, con lo cual se puede contemplar la posibilidad de ubicar menos pernos, pero bajo la condición de proporcionar un mejor apriete a los elementos sellantes o empaques en las juntas se conserva la disposición de 6 pernos.

5.4.2.3 Diseño del Eje de la turbina

Una turbina como la presente, cuenta con eje de transmisión de potencia a una velocidad de rotación reconocida, este elemento está expuesto a cargas estáticas en lo cual se somete a esfuerzos de tipo torsional, de flexión, esfuerzos axiales y además a cargas cíclicas en la cual puede que falle por fatiga.

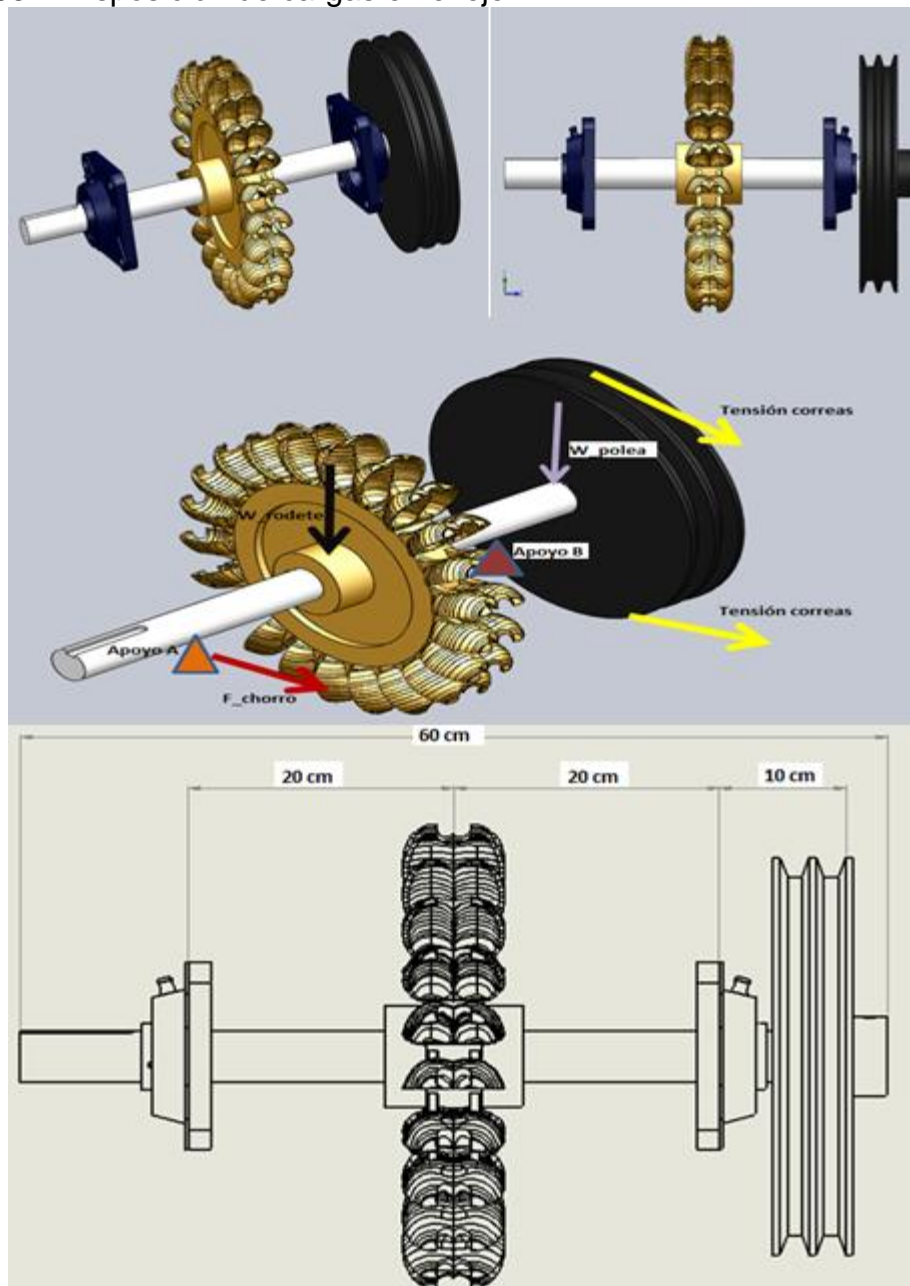
En el proceso del diseño de un eje se tienen en cuenta que este elemento sostiene uno o varios elementos y además debe soportarse en cojinetes bien alineados que proporcionan la rigidez y la estabilización adecuada en el sistema.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente se procede de la siguiente manera.

Diagramas de cuerpos libres y momentos en dos planos.

Inicialmente se elabora el diagrama de cuerpo libre con los elementos en el eje y sus respectivas cargas.

Figura 103. Disposición de cargas en el eje

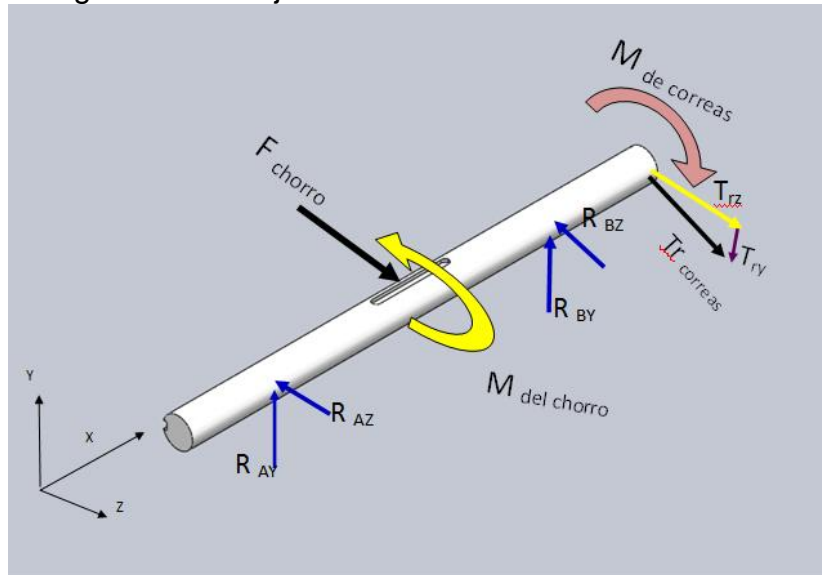


Fuente: Autores

Cargas:

$$W_{polea} = 13.51 \text{ kg} \quad W_{rodete} = 10 \text{ kg} \quad F_{chorro} = 434.3 \text{ N}$$

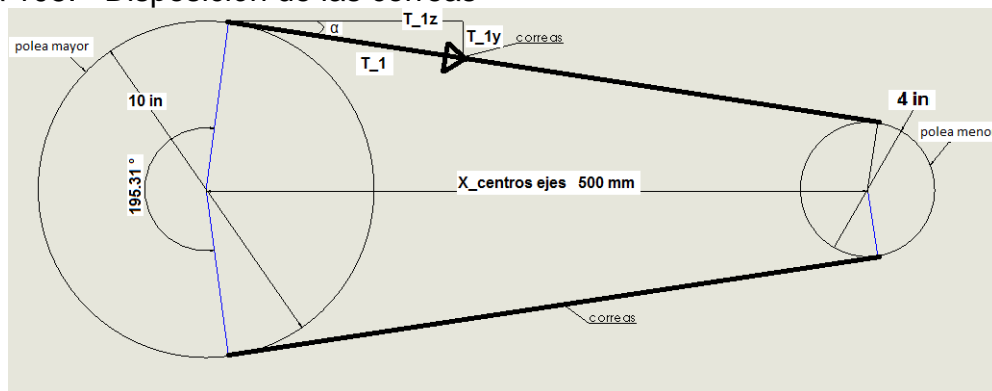
Figura 104. Cargas sobre el eje.



Fuente: Autores.

Calculo de tensiones en las correas.

Figura 105. Disposición de las correas



Fuente: Autores

La tensión de la correas en un sistema de transmisión depende particularmente de la potencia que se transmite, la velocidad de la correa y el ángulo cubierto en la polea.

Sus valores se determinan a través de la ecuación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{\mu_{correa} * \theta * \pi}{180}} \quad ; \quad T_1 - T_2 = \frac{Pot}{V_{correa}}$$

Siendo:

$$\theta = 195.3^\circ \quad ; \quad V_{correa} = rpm_{turbina} * \frac{D_{poleamayor}}{2} = 19,94 \text{ m/seg} \quad Pot = 6.5 \text{ KW}$$

$\mu_{correa} = 0,3$ Coeficiente de fricción dinámico en correas.

$$T_1 - T_2 = \frac{6.5 \text{ KW}}{19.94 \frac{\text{m}}{\text{seg}}} = 325.97 \text{ N} \quad ; \quad \frac{T_1}{T_2} = 2.78$$

Con esto se obtienen valores de:

$$T_1 = 509 \text{ N} \quad T_2 = 183.12 \text{ N}$$

En el ángulo que forma la tensión con respecto a la horizontal equivale a:

$$\alpha = \frac{\theta - 180}{2} = 7.76^\circ$$

Estas tensiones situadas en el eje se ven expresadas así:

$$T_{Ry} = -T_1 * \text{sen}(\alpha) + T_2 * \text{sen}(\alpha) = -44.0 \text{ N}$$

$$T_{Rz} = T_1 * \text{cos}(\alpha) + T_2 * \text{cos}(\alpha) = 685.78 \text{ N}$$

Con los valores resultantes de las tensiones en sus respectivos puntos en la polea, se realiza el traslado de fuerzas al eje, originando en el eje el torque realizado por dichas fuerzas⁴³.

$$Torque_{correas} = (T_1 * \cos(\alpha) - T_2 * \cos(\alpha)) * \frac{D_{poleamayor}}{2} = 41.0 \text{ N.m}$$

$$Torque_{chorro} = F_{chorro} * \frac{D_{pelton}}{2} = 55.15 \text{ N.m}$$

Se considera calcular el torque máximo que podía dar el chorro, previniendo que en algún caso no exista la presencia de movimiento alguna en el generador.

Obteniendo:

$$|P_{2y}| = T_{Ry} + W_{polea} = 44.0 \text{ N} + \left(13.51 \text{ kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{seg}^2} \right) = 176.53 \text{ N}$$

$$|P_{2z}| = T_{Rz} = 685.78 \text{ N}$$

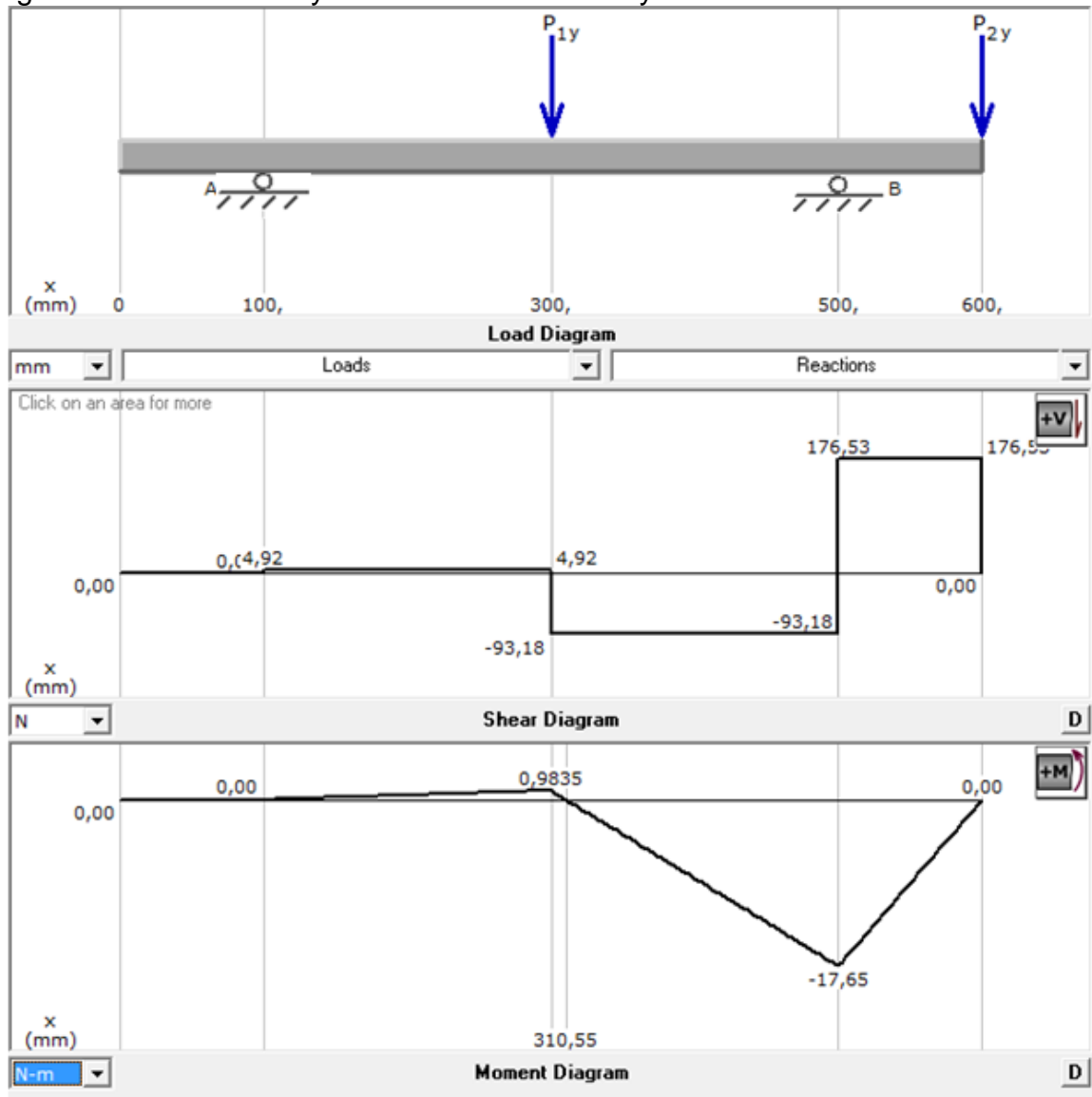
En el punto en el cual está ubicado el rodete se obtiene las siguientes fuerzas aplicadas sobre el eje.

$$|P_{1y}| = W_{rodete} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 98.1 \text{ N}$$

$$|P_{1z}| = F_{chorro} = 434.3 \text{ N}$$

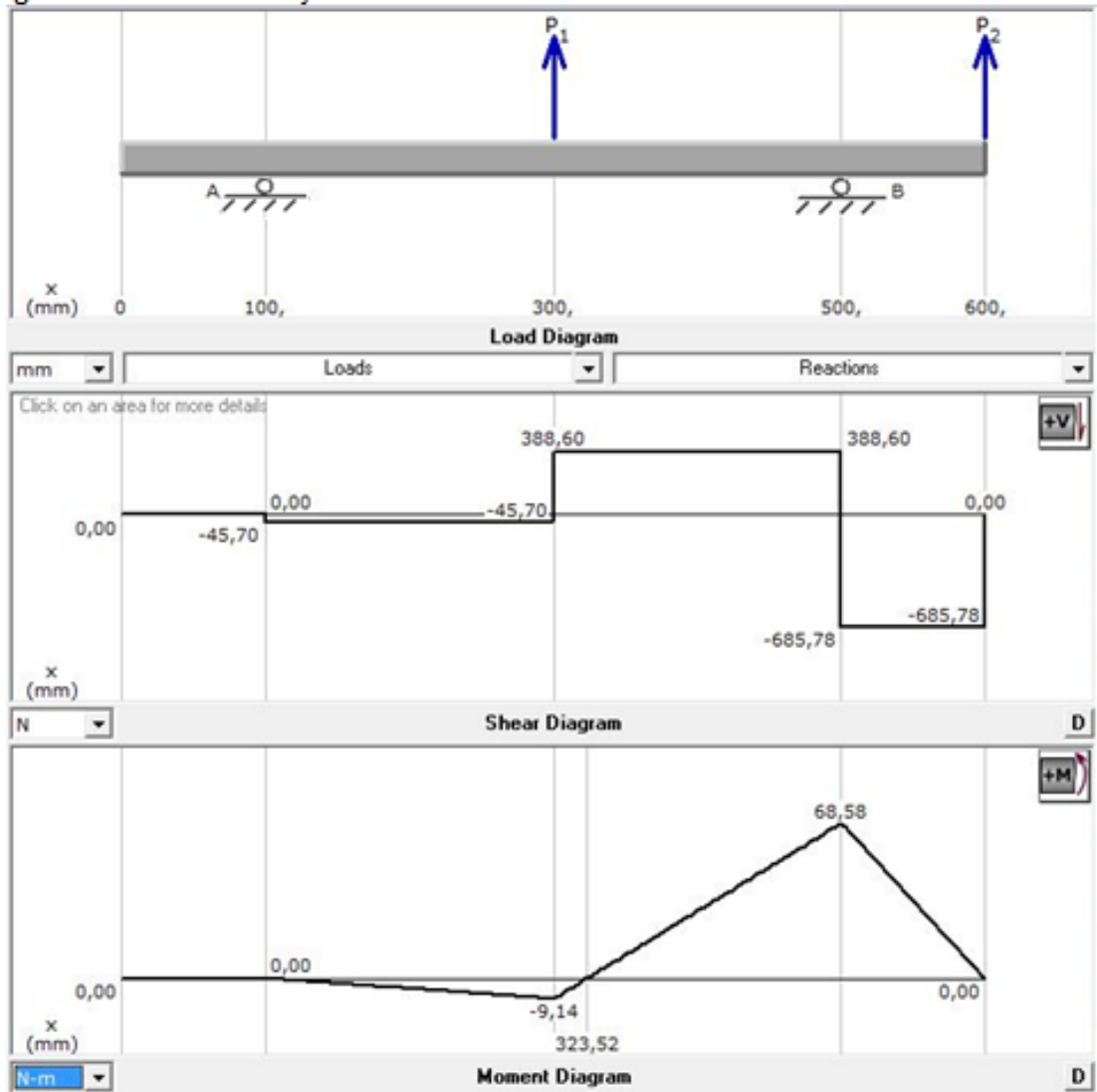
⁴³ HAMROCK, Bernard J; JACOBSON, Bo O y SCHMID, Steven R. elementos de máquinas. México: McGraw-Hill, 1999. p 826.

Figura 106. Cortantes y momento en Planos x-y



Fuente: Autores

Figura 107. Cortante y momento Planos x-z



Fuente: Autores

En el análisis de los diagrama de momento se observa que el punto B, correspondería al punto crítico, en el cual se toman los valores de momentos máximos en sus respectivos planos.

$$M_{xy} = -17.65 \text{ N.m}$$

$$M_{xz} = 68.58 \text{ N.m}$$

Calculo de esfuerzos en el eje

Se realiza un análisis de los puntos críticos en los planos anteriormente mostrados, con lo cual se considera que material está disponible en el mercado y cuál será la elección, obteniendo de este sus características pertinentes.

En el momento de buscar un material para el eje de la turbina, se tiene en cuenta la condición del eje, el cual se expone a carga combinada, para lo cual se preseleccionan materiales de excelentes comportamientos bajo esta condición de carga.

Tabla 19. Materiales para eje de turbina

Material	Condición		Resistencia Fluencia S_y , MPa (kpsi)	Resistencia ultima S_{ut} , MPa (Kpsi)
Acero 1045	Templado recocido.	y	1520 (220)	1580 (230)
Acero 4142	Templado recocido.	y	1720 (250)	1930 (210)

Fuente: Autores

Como se ha de observar los materiales presentados muestran resistencias altas, siendo mayor la resistencia en el acero 4140, el cual es seleccionado además por su gran resistencia a medios corrosivos como el presente en el cual existe la presencia de agua.

RESISTENCIA ESTÁTICA⁴⁴

En el cálculo por carga estática del diámetro del eje se manejan dos teorías:

Teoría de esfuerzo cortante máximo: la cual hace referencia a que cualquier elemento sujeto a una combinación de cargas fallara en el momento en que el

⁴⁴ HAMROCK, Bernard J; JACOBSON, Bo O y SCHMID, Steven R. elementos de máquinas. México: McGraw-Hill, 1999. p 426.

esfuerzo cortante exceda un valor crítico. Para lo cual el diámetro de un eje bajo carga estática según esta teoría se expresa así:

$$M_{max} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2} = 70.81 \text{ N.m}$$

$$d_{eje\ tecm} = \left(\frac{32 * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{M_{max}^2 + T_{max}^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 12.17 \text{ mm}$$

M_{max} = Momento resultante

T_{max} = Torque chorro

S_y =Esfuerzo de fluencia

n_s = factor de seguridad; bajo las condiciones de trabajo, la necesidad de una alta confiabilidad en la máquina y la predicción de vida de 25 años, se considera un factor de seguridad de 3.

Teoría de la energía de distorsión: sugiere que la falla en un elemento es causada por la energía elástica asociada a la deformación por cortante, con lo cual se determina el cálculo de un eje a través de la ecuación.

$$d_{eje\ ted} = \left(\frac{32 * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{M_{max}^2 + 3 * \frac{T_{max}^2}{4}} \right)^{\frac{1}{3}} = 11.97$$

- Cálculo de esfuerzos por carga cíclica⁴⁵

Uno de los análisis útiles por realizar a la hora de diseñar un eje, es el análisis por cargas cíclicas, el cual es adecuado en los casos en que hay esfuerzos cortantes y normales fluctuantes.

Cuando se realiza un análisis de fatiga en un eje se tienen en cuenta las siguientes consideraciones en las propiedades del material.

Experimentalmente se ha comprobado que el límite a la fatiga del acero se puede calcular de la siguiente manera para tres tipos de carga:

$$S_e'' = 0.5 * S_u \quad \text{flexión}$$

$$S_e'' = 0.45 * S_u \quad \text{axial}$$

$$S_e'' = 0.29 * S_u = 559.7 \text{ Mpa} \quad \text{torsión}$$

S_u = esfuerzo de rotura.

Habitualmente a los materiales se le realiza una cantidad de tratamientos y mecanizados que modifican el límite a la fatiga de los materiales, esta modificación se ve expresada en su resistencia así:

$$S_e = K_f * K_s * K_r * K_t * K_m * S_e''$$

K_f = factor de acabado de superficie

K_s = factor de tamaño

K_r = factor de confiabilidad

K_t = factor de temperatura

⁴⁵ HAMROCK, Bernard J; JACOBSON, Bo O y SCHMID, Steven R. elementos de máquinas. México: McGraw-Hill, 1999. p 259.

K_m = factor diverso

S_e = esfuerzo limite a la fatiga modificado

- Factor de acabado de superficie

Este factor es función de los procesos de maquinados a los cuales se expone el elemento y la resistencia a la rotura.

Su valor se puede obtener de la expresión.

$$k_f = e * S_{ut}^f$$

Donde e y f se obtienen dependiendo del proceso de maquinado.

Tabla 20. Coeficientes para factor de acabado de superficie

Proceso de manufactura	Factor e		Exponente f
	MPa	ksi	
Esmerilado	1.58	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	2.70	-.265
Laminado en caliente	57.7	14.4	-.718
Ninguno (como sale de forja)	272.0	39.9	-.995

Fuente: Mechanical Engineering Design. J.E. Shigley y L.D. Mitchell,

$$S_{ut} = 1930 \text{ MPa}$$

Con lo cual tenemos que para un procesos de maquinado o estirado en frio.

$$k_f = e * S_{ut}^f = 0.60$$

- Factor de tamaño

El factor de tamaño se ve afectado en una barra redonda según el método de carga, en el caso de estar expuesto a flexión o torsión este factor se puede determinar de la siguiente forma.

$$k_s = 1.189 * d^{-0.112} = 0.8 \text{ Considerando un diámetro de 1 in}$$

- Factor de confiabilidad

Este factor es de tipo estadístico en el cual se evalúa la probabilidad de supervivencia para la vida indicada en un esfuerzo particular.

Con lo cual se tiene que para una probabilidad de supervivencia del 99 % el factor de confiabilidad es de $K_r=0.82$.

- Factor de temperatura

En ciertas aplicación en la cuales hay carga variantes, por lo general existen condiciones con temperaturas elevadas, lo cual modifica la resistencia del material. En el presente elemento las condiciones de temperatura no son lo relevante para generar cambios en la resistencia del material por lo cual se considera un $K_t=1$.

- Factores diversos

Los factores diversos involucra condiciones de maquinados del elemento, condiciones ambientales corrosivas y esfuerzos residuales, estas situaciones pueden ser variantes en cada situación a la hora de implementar un nuevo equipo, en el presente proyecto se considera un $K_m=0.5$, debido a las condiciones corrosivas del medio.

Una vez obtenido los valores de los factores que afectan el límite a la fatiga se procede a obtener su respectivo valor.

$$S_e = K_f * K_s * K_r * K_t * K_m * S_e$$

$$S_e = 0.6 * 0.8 * 0.82 * 1 * 0.5 * 559.7 = 110.14 \text{ Mpa}$$

DISEÑO DE EJE POR CARGA CÍCLICA⁴⁶

En el uso de carga cíclica existe una variación de esfuerzos en todo un ciclo, para lo cual se realiza el respectivo análisis general para materiales dúctiles manteniendo dos teorías certeras.

$$M_m = M_a = \frac{M_{max}}{2};$$

bajo la condicion de momento medio y alternante iguales tenemos

$$M_m = 35.40 \text{ N. m};$$

$$T_m = T_a = \frac{T_{max}}{2} = 27.57 \text{ N. m}$$

La teoría de esfuerzo cortante máximo para carga cíclica determina el diámetro de la siguiente forma:

$$d_{eje\ ftecm} = \left[\frac{32 * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} * K_f * M_a \right)^2 + \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} * K_{fs} * T_a \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{eje\ ftecm} = 23.66 \text{ mm}$$

La teoría de la energía de distorsión, para carga cíclica determina el diámetro así:

⁴⁶ HAMROCK, Bernard J; JACOBSON, Bo O y SCHMID, Steven R. elementos de máquinas. México: McGraw-Hill, 1999. p 436.

$$d_{eje\ fted} = \left[\frac{32 * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y}{S_e} * K_f * M_a \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(T_m + \frac{S_y}{S_e} * K_{fs} * T_a \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{eje\ fted} = 23.27\ mm$$

De donde Kf= factor de concentración de esfuerzos por la fatiga debido a carga normal

Kfs= factor de concentración de fatiga debido a una carga cortante.

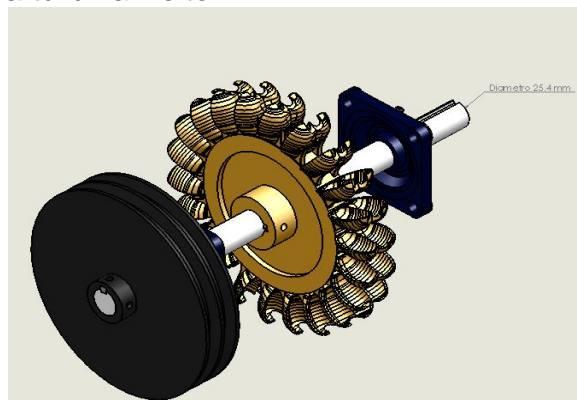
En el presente diseño el eje no presenta concentración de esfuerzo bajo la condición de ninguna muesca en el eje, con lo cual se considera los factores de concentración de esfuerzos iguales a 1.

Diámetro del eje

Con los valores obtenidos de los diámetros, se procede a estandarizar el valor del diámetro a un valor estándar mayor próximo al calculado, por tanto se tiene:

$$d_{eje} = 1\ [in]$$

Figura 108. Eje de la turbina Pelton



Fuente: Autores

5.4.2.4 Diseño de la Carcasa

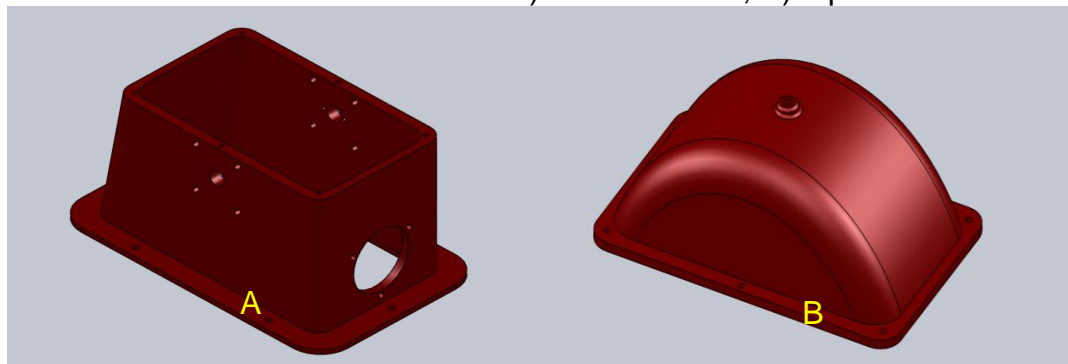
La carcasa es el elemento encargado en la turbina de conducir el agua a la cámara de recolección, para posterior reintegro a su cauce natural, entre otras de sus funciones se encuentra el soporte de implementos de rotación dispuestos en las turbinas, y la protección de los dispositivos internos a la misma.

Por lo general sus contornos o parámetros dimensionales solo están sujetos a conservar las distancias mínimas que eviten la perturbación del movimiento rotacional del rodete, para el dimensionamiento de la carcasa se tienen en cuenta las recomendaciones dadas por la Organización Latinoamericana de Energía.

En el presente diseño se considera ubicar el inyector horizontal, hacia la parte inferior del rodete, de tal forma que se posicione lo más tangente posible al diámetro Pelton en el rodete, y que el agua descarga se dirija lo más eficaz posible hacia la conducción de reintegro.

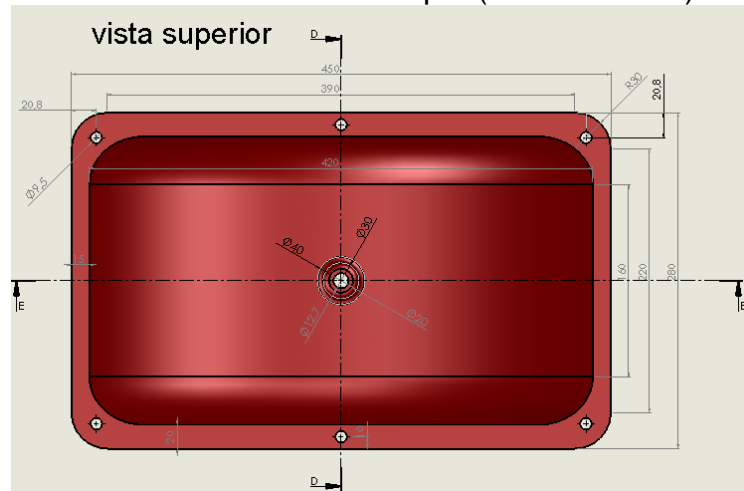
La carcasa consta de dos elementos importantes, dentro de los cuales está la base carcasa, en la cual se soporta inyector, chumaceras, eje, rodete, poleas, y en la parte superior de la carcasa esta la tapa, que brinda la posibilidad de inspección de los elementos rodantes y la realización de mantenimientos menores dirigido a los elementos internos.

Figura 109. Elementos de la carcasa. A) Base carcasa, B) tapa carcasa.



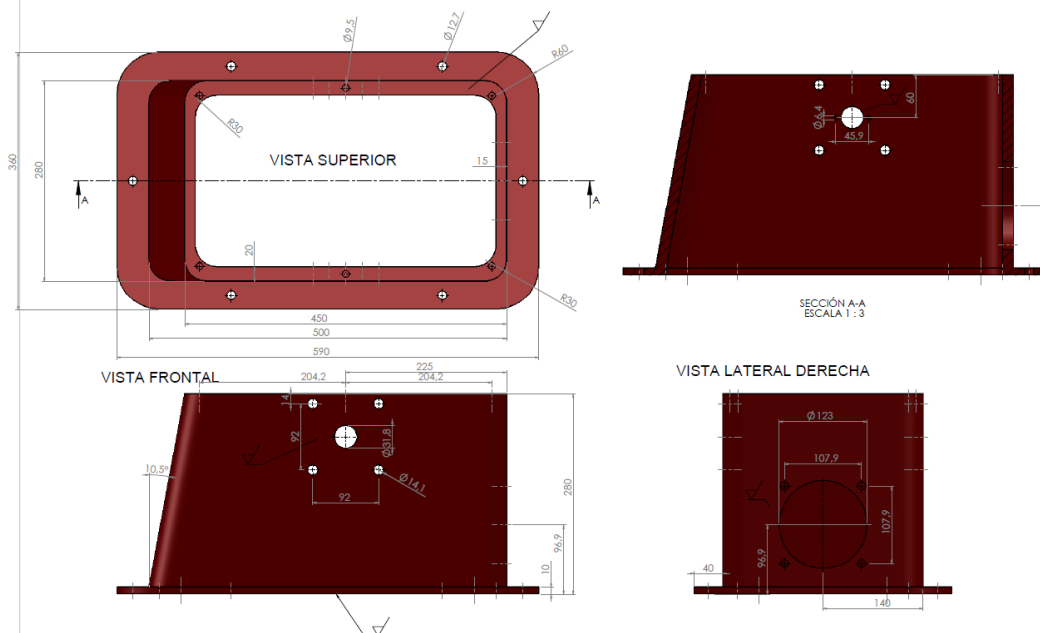
La sujeción de la tapa a la base central y la de la carcasa a los cimientos en la casa-maquinas, se realiza a través de pernos en acero inoxidable y la utilización de empaques de poliestireno que garantizan una excelente sujeción y la no presencia de fugas en la máquina.

Figura 110. Detalles dimensionales de la tapa. (Unidades mm)



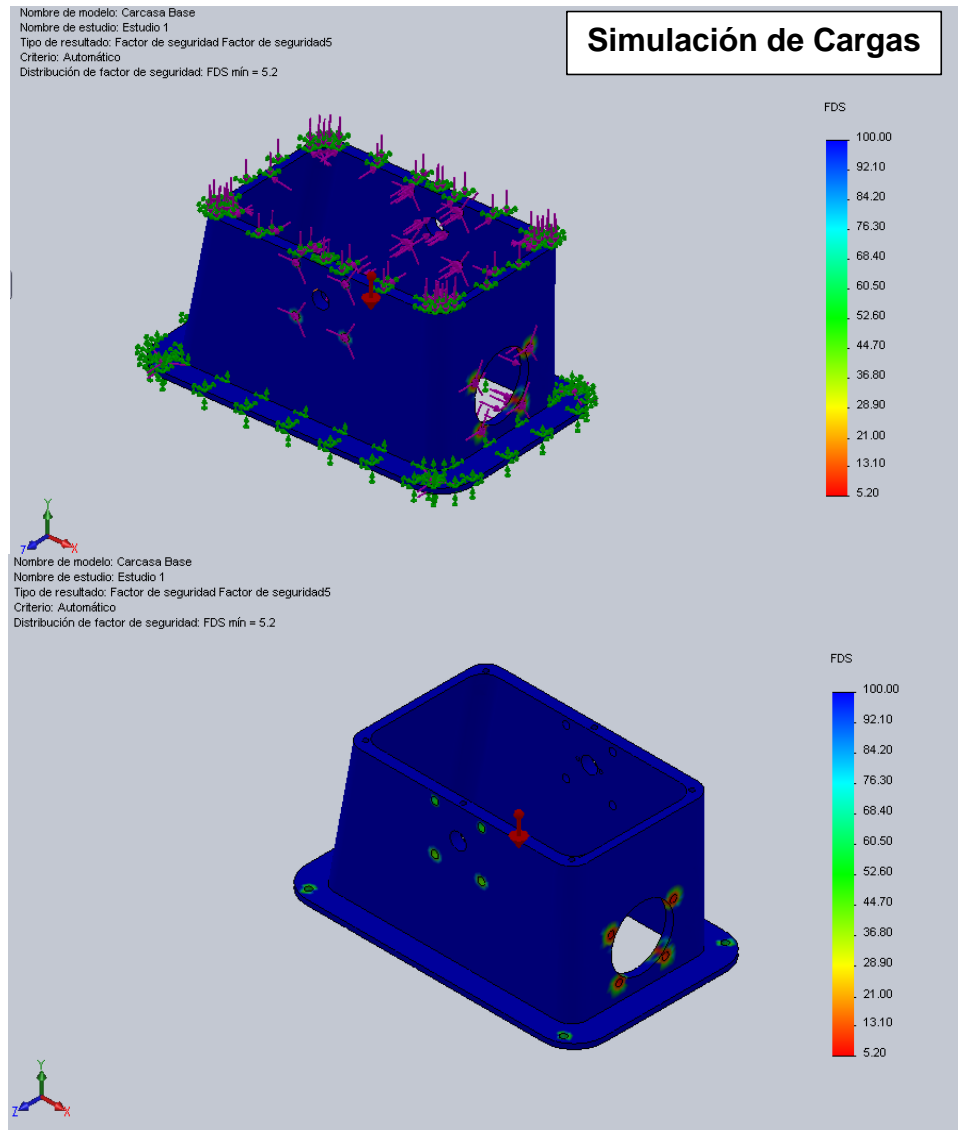
Fuente: Autores

Figura 111. Detalles dimensionales de la base de la carcasa (Unidades mm)



Fuente: Autores

Figura 112. Análisis CAE Carcasa



Fuente: Autores

Como se puede observar en el análisis CAE, los mayores esfuerzos en la carcasa se encuentran en los puntos apertados con un factor de seguridad mínimo de 5.2, lo que nos garantiza el soporte de elementos y un espesor adicional para la erosión y la corrosión.

5.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS⁴⁷

En el momento de seleccionar los rodamientos adecuados para la maquina como tal, se deben evaluar las cargas a los cuales estos se enfrentaran. Por lo cual se tomaran las cargas resultantes en cada uno de los apoyos en el eje mostrado en el diagrama de cortante.

Apoyos A y B:

$$R_{AY} = 4.92 \text{ N} \quad R_{AZ} = 45.7 \text{ N} \quad R_{BY} = 269.71 \text{ N} \quad R_{BZ} = 1074.38 \text{ N}$$

Con estos valores de la reacciones, se encuentran las resultantes en cada punto.

$$R_A = \sqrt{R_{AY}^2 + R_{AZ}^2} = 45.96 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BZ}^2} = 1107.71 \text{ N}$$

Como se puede observar las fuerzas que actuaran sobre los rodamientos son radiales, por lo cual se seleccionan rodamientos rígidos de bolas.

Analizando los valores de las fuerzas en los apoyos, se considera evaluar particularmente el apoyo B, el cual estará sujeto a una fuerza elevada. Partiendo de esto, se considera seleccionar un rodamiento de diámetro interno igual a 1 in, debido a que el diámetro del eje en ese tramo equivale a este valor.

Con este valor de diámetro interno se preselecciona un rodamiento en el catálogo NTN y se corrobora la resistencia a la carga propuesta.

⁴⁷ NTN CORPORATION. "Bearing units steel series". www.ntnsudamericana.com

Tabla 21. Características de rodamientos

Datos	Detalle
Rodamiento	NTN-6305
Capacidad de carga dinámica C_r	21.2 KN
Capacidad de carga estática C_{or}	10.9 KN

Fuente: catalogo NTN.

Comprobación de la Carga estática

En los rodamientos cargados dinámicamente se recomienda corroborar la capacidad de carga estática adecuada.

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

De donde:

C_0 = capacidad de carga estática, KN

P_0 = carga estática equivalente, KN

S_0 = factor de seguridad estático.

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{10.9 \text{ KN}}{1.107 \text{ KN}} = 9.84$$

Con este valor de factor de seguridad estático, se deduce que el rodamiento es apto para las circunstancias de cargas y pretende tener un funcionamiento silencioso.

Capacidad de carga y vida Útil

La vida útil de un rodamiento está definida usualmente por el número total de revoluciones, las condiciones de uso, y las carga a las cuales está sometido. En el

caso presente las condiciones de servicio son las 24 horas de operación continua, y se espera que en equipos de generación de potencia los rodamientos tenga una vida próxima a las 60.000 horas.

$$L_{10H} = \frac{10^6}{60 * n} \left(\frac{C_r}{P} \right)^3$$

L_{10H} = vida nominal básica

n = velocidad de rotación, rpm

P = carga radial, KN

C_r =capacidad básica de carga dinámica.

$$L_{10H} = \frac{10^6}{60 * 1500 \text{ rpm}} \left(\frac{21.2 \text{ KN}}{1.107 \text{ KN}} \right)^3 = 78040.88 \text{ horas}$$

Vida nominal ajustada

$$L_{na} = a1 * a2 * a3 * L_{10H}$$

El Factor de confiabilidad (a_1), es equivalente 1 para un valor de confiabilidad del 90%.

Tabla 22. Factor de confiabilidad a_1

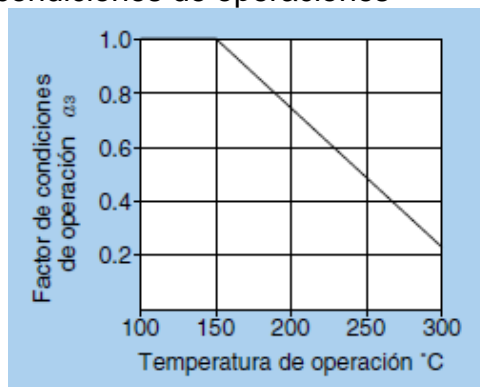
Confiabilidad %	L_n	Factor de confiabilidad a_1
90	L_{10}	1.00
95	L_6	0.62
96	L_4	0.53
97	L_3	0.44
98	L_2	0.33
99	L_1	0.21

Fuente: NTN CORPORATION. "Bearing units steel series". www.ntnsudamericana.com

El factor de características de rodamiento (a_2), es dependiente de los materiales de fabricación del rodamiento, y la temperatura de trabajo a las cuales estaría sujeto el mismo, por lo cual considerando que haciendo uso de un buen mantenimiento en los rodamientos no debería existir altas temperaturas elevadas en los mismo, con lo cual el factor de características sería 1 para unas buenas condiciones de mantenimiento y buenos estándares de calidad a la hora de la fabricación del cojinete.

El factor de condiciones de operación (a_3), se ve influenciado por el deterioro del lubricante por agentes del ambiente, tal como el sucio y demás agentes contaminante; tal hecho se refleja en la elevación de la temperatura en el elemento.

Figura 113. Factor de condiciones de operaciones



Fuente: NTN CORPORATION. "Bearing units steel series". www.ntnsudamericana.com

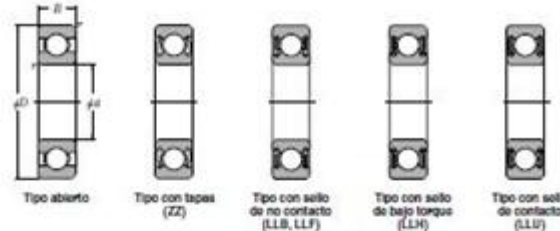
Se puede inferir de la gráfica que para valores de temperaturas no muy elevadas, cercanas a los 180 ° C el factor alcanza un valor de 0.8.

$$L_{na} = a_1 * a_2 * a_3 * L_{10H} = 1 * 1 * 0.85 * 78040.88 = 66334.74 \text{ horas} = 7.5 \text{ años}$$

Con lo cual se puede observar que el rodamiento seleccionado, cuenta con los requerimientos de cargas necesarios para el apoyo. En el apoyo A, se considera

utilizar un rodamiento del mismo tipo, con el fin de mantener la simetría en la máquina, siendo que en este punto el rodamiento sería más conservativo.

Figura 114. Selección de los rodamientos



d) 20 ~ 35mm

Series	Dimensiones principales			Capacidad básica de carga				Factor de ajuste	Velocidades límites				Números de rodamientos						
	mm	mm	mm	kn	kgf	kn	kgf		graz	sello	rpm	ZZ	LLB	LLH	LLU	con tapas	con sello de no contacto	con sello de contacto	
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	—	—	—	—	6404	
	22	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	6022	ZZ	LLB	LLH	LLU
		50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	600	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	6222	ZZ	LLB	LLH	LLU
25	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 950	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	6322	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 800	—	—	—	—	—	—	6795	
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6905	ZZ	LLB	—	LLU	
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU	
	47	8	0.3	—	8.36	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—	—	
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	505	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU	
28	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	52	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 180	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	60	21	1.5	—	34.5	17.5	3 950	1 700	11.8	10 000	12 000	—	—	—	—	—	—	6405	
30	52	12	0.6	0.5	12.5	7.40	1 270	755	14.5	14 000	16 000	10 000	8 400	6028	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	58	16	1	0.5	17.9	9.75	1 800	905	13.4	12 000	14 000	9 700	8 100	6228	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	68	18	1.1	0.5	26.7	14.0	2 730	1 430	12.4	11 000	13 000	8 900	7 400	6328	ZZ	LLB	LLH	LLU	
32	37	4	0.2	—	1.14	0.950	117	97	15.7	3 300	3 800	—	—	—	—	—	—	6796	
	42	7	0.3	0.3	4.70	3.65	480	370	16.5	15 000	18 000	—	8 800	6806	ZZ	LLB	—	LLU	
	47	9	0.3	0.3	7.25	5.00	740	510	15.8	14 000	17 000	—	8 400	6906	ZZ	LLB	—	LLU	
	55	9	0.3	—	11.2	7.35	1 150	750	15.2	13 000	15 000	—	—	16006	—	—	—	—	
	55	13	1	0.5	13.2	8.3	1 350	845	14.8	13 000	15 000	9 200	7 700	6006	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	62	16	1	0.5	19.5	11.3	1 980	1 150	13.8	11 000	13 000	8 800	7 300	6206	ZZ	LLB	LLH	LLU	
35	72	19	1.1	0.5	26.7	15.0	2 730	1 530	13.3	10 000	12 000	7 900	6 600	6306	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	80	23	1.5	—	43.5	23.9	4 400	2 440	12.3	8 800	10 000	—	—	—	—	—	—	6406	
	58	13	1	0.5	11.8	8.05	1 200	820	15.4	12 000	15 000	8 700	7 200	6052	ZZ	LLB	LLH	LLU	
35	65	17	1	0.5	20.7	11.6	2 110	1 100	13.6	11 000	12 000	8 400	7 100	6252	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	75	20	1.1	0.5	29.8	16.9	3 050	1 730	13.1	9 500	11 000	7 700	6 500	6352	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	47	7	0.3	0.3	4.90	4.05	500	410	16.4	13 000	16 000	—	7 600	6807	ZZ	LLB	—	LLU	
35	55	10	0.6	0.5	9.55	6.85	975	605	15.8	12 000	15 000	—	7 100	6907	ZZ	LLB	—	LLU	
	62	9	0.3	—	11.7	8.20	1 130	835	15.6	12 000	14 000	—	—	16007	—	—	—	—	
	62	14	1	0.5	16.0	10.3	1 630	1 050	14.8	12 000	14 000	8 200	6 800	6007	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	72	17	1.1	0.5	25.7	15.3	2 620	1 580	13.8	9 800	11 000	7 600	6 300	6207	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	80	21	1.5	0.5	33.5	19.1	3 400	1 950	13.1	8 800	10 000	7 300	6 000	6307	ZZ	LLB	LLH	LLU	
	100	26	1.5	—	56.0	31.0	5 600	3 190	12.3	7 800	9 100	—	—	—	—	—	—	—	6407

Fuente: NTN CORPORATION. "Bearing units steel series". www.ntnsudamericana.com

5.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICA

En el momento de dimensionar un sistema de transmisión se deben tener en cuenta: velocidades del elemento conductor y conducido, condiciones de servicio y potencia a transmitir.

En el presente proyecto se realiza la selección de un sistema de transmisión por correas trapezoidales en la cual obtenemos las siguientes ventajas

- Económica adquisición, bajo costo de mantenimientos, fácil acceso.
- Nivel bajo de ruido, fácil montaje y desmontaje.
- Excelente tiempo de servicio, fácil adaptación y buen rendimiento de transmisión.

5.6.1 Selección del tipo de correa

5.6.1.1 Potencia corregida

La potencia real transmitida por las correa se ve modificada por el factor de carga en el cual se refleja las condiciones de servicio de las correas.

$$P_c = P_{eje} * F_{carga}$$

$$P_{eje} = 7 \text{ KW}$$

$$F_{carga} = 1.6$$

$$P_c = (7 \text{ KW}) * (1.6) = 11.2 \text{ KW}$$

5.6.1.2 Factor de carga

Este factor considera el tiempo de servicio diario y el tipo de maquina al cual va ser aplicado el sistema de transmisión.

En las condiciones en las cuales se va a trabajar con una maquina tipo turbina-generador, en la cual las prestaciones de servicio diario son las 24 horas. Se

considera un valor de factor de carga de $C_d=1.6$, indicados en la norma DIN 2268 para correas trapezoidales clásicas.

5.6.1.3 Relación de transmisión

Para la relación de transmisión en poleas se tiene en cuenta que la prestación base de potencia de correas tiende a disminuir cuando la polea menor es muy pequeña, por lo cual se recomienda seleccionar una polea menor que mantenga un razonamiento económico en el costo de las poleas y el costo de involucrar una correa más a la transmisión.

Tenemos una relación de transmisión de 2,5.

$$i = \frac{N_{\text{generador}}}{N_{\text{turbina}}} = \frac{3600}{1472} = 2,5$$

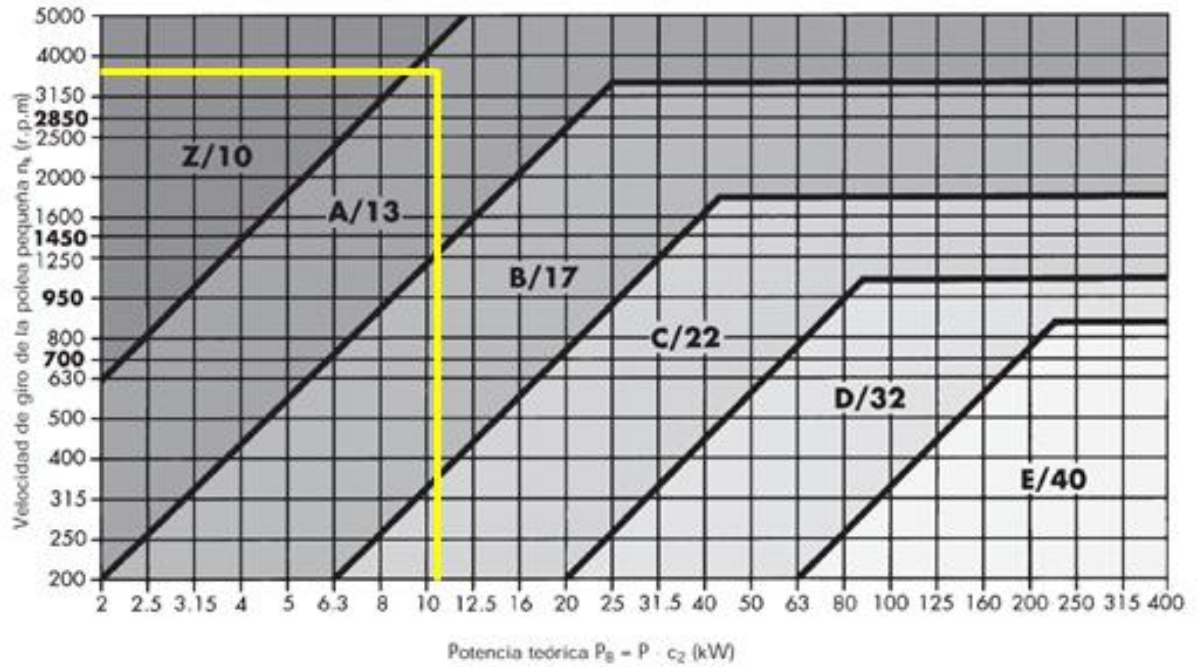
Tratando de conservar las dimensiones del rodete de la turbina de 25 cm de diámetro, seleccionamos una polea mayor de 10 in, y por consiguiente la menor de 4 in para mantener la relación de transmisión y la estandarización de las poleas.

5.6.1.4 Prestación base por correas

La capacidad de potencia que puede transmitir las correas se ve influenciada por el tipo de correas, el diámetro de la polea menor y la velocidad de giro.

Inicialmente se realiza una selección del tipo de correas referenciada según la potencia a transmitir y la velocidad de la polea menor.

Figura 115. Selección del tipo de correas trapezoidales



Fuente: Correas trapezoidales clásicas. Normas DIN 2215.

Con lo cual se recurre a la selección de un perfil tipo A, en el cual se encuentran mejores comportamientos frente a condiciones de potencias mayores.

Tras la selección del tipo de perfil de correa se procede a considerar la capacidad de potencia prestada por cada correa bajo la condición de velocidad y dimensiones de la polea menor.

Figura 116. Potencias nominales de correas trapezoidales SPA

Poleas	n_2	v (m/s)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d_{ref} (mm)														Suplemento de potencia (kW) por correa para i			
			63	71	80	85	90	95	100	112	125	132	140	150	160	180	200	1,01 hasta 1,05	1,06 hasta 1,26	1,27 >1,57
5	700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
	950	0,63	0,87	1,14	1,29	1,44	1,59	1,74	2,08	2,46	2,66	2,89	3,17	3,45	4,00	4,54	0,01	0,09	0,12	0,15
	1450	0,87	1,23	1,62	1,84	2,06	2,27	2,49	3,00	3,54	3,83	4,16	4,56	4,96	5,75	6,51	0,02	0,13	0,19	0,23
	2850	1,38	2,03	2,74	3,13	3,52	3,90	4,27	5,15	6,07	6,55	7,08	7,72	8,34	9,50	10,55	0,04	0,26	0,37	0,46
	100	0,10	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,28	0,33	0,35	0,38	0,42	0,45	0,52	0,59	0,00	0,01	0,01	0,02
	200	0,18	0,24	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,52	0,61	0,66	0,71	0,78	0,85	0,98	1,12	0,00	0,02	0,03	0,03
	300	0,25	0,33	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,75	0,88	0,95	1,03	1,13	1,23	1,42	1,62	0,00	0,03	0,04	0,05
	400	0,32	0,43	0,55	0,62	0,68	0,75	0,81	0,97	1,14	1,23	1,34	1,47	1,59	1,85	2,10	0,01	0,04	0,05	0,06
	500	0,38	0,51	0,66	0,75	0,83	0,91	0,99	1,19	1,39	1,51	1,63	1,79	1,95	2,26	2,57	0,01	0,05	0,07	0,08
	600	0,44	0,60	0,78	0,87	0,97	1,07	1,16	1,39	1,64	1,77	1,92	2,11	2,29	2,66	3,02	0,01	0,06	0,08	0,10
	700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
	800	0,55	0,76	0,99	1,12	1,24	1,37	1,50	1,79	2,12	2,29	2,48	2,72	2,96	3,44	3,91	0,01	0,07	0,11	0,13
	900	0,61	0,84	1,09	1,24	1,38	1,52	1,66	1,99	2,35	2,54	2,75	3,02	3,29	3,81	4,33	0,01	0,08	0,12	0,15
	1000	0,66	0,91	1,19	1,35	1,51	1,66	1,81	2,18	2,57	2,78	3,02	3,31	3,61	4,18	4,75	0,01	0,09	0,13	0,16
	1100	0,71	0,98	1,29	1,46	1,63	1,80	1,97	2,37	2,79	3,02	3,28	3,60	3,92	4,54	5,16	0,02	0,10	0,14	0,18
1200	0,76	1,06	1,39	1,57	1,76	1,94	2,12	2,55	3,01	3,26	3,54	3,88	4,22	4,90	5,56	0,02	0,11	0,16	0,19	
1300	0,80	1,12	1,48	1,68	1,88	2,07	2,27	2,73	3,23	3,49	3,79	4,16	4,52	5,24	5,95	0,02	0,12	0,17	0,21	
1400	0,85	1,19	1,58	1,79	2,00	2,21	2,42	2,91	3,44	3,72	4,04	4,43	4,82	5,58	6,32	0,02	0,13	0,18	0,23	
1500	0,89	1,26	1,67	1,89	2,12	2,34	2,56	3,08	3,64	3,94	4,28	4,69	5,11	5,91	6,69	0,02	0,14	0,20	0,24	
1600	0,93	1,32	1,76	2,00	2,23	2,47	2,70	3,26	3,85	4,16	4,52	4,95	5,39	6,23	7,05	0,02	0,15	0,21	0,26	
1700	0,98	1,39	1,85	2,10	2,35	2,59	2,84	3,42	4,05	4,38	4,75	5,21	5,66	6,55	7,40	0,02	0,16	0,22	0,27	
1800	1,02	1,45	1,93	2,20	2,46	2,72	2,98	3,59	4,24	4,59	4,98	5,46	5,93	6,85	7,74	0,03	0,17	0,24	0,29	
1900	1,06	1,51	2,02	2,29	2,57	2,84	3,11	3,75	4,43	4,80	5,20	5,70	6,19	7,15	8,07	0,03	0,18	0,25	0,31	
2000	1,10	1,57	2,10	2,39	2,68	2,96	3,24	3,91	4,62	5,00	5,42	5,94	6,45	7,44	8,38	0,03	0,19	0,26	0,32	
2100	1,13	1,63	2,18	2,48	2,78	3,08	3,37	4,07	4,81	5,20	5,64	6,17	6,70	7,72	8,68	0,03	0,19	0,28	0,34	
2200	1,17	1,69	2,26	2,58	2,89	3,20	3,50	4,22	4,99	5,39	5,84	6,40	6,94	7,99	8,98	0,03	0,20	0,29	0,35	
2300	1,20	1,74	2,34	2,67	2,99	3,31	3,63	4,38	5,17	5,58	6,05	6,62	7,18	8,25	9,26	0,03	0,21	0,30	0,37	
2400	1,24	1,80	2,42	2,75	3,09	3,42	3,75	4,52	5,34	5,77	6,25	6,84	7,41	8,50	9,52	0,03	0,22	0,32	0,39	
2500	1,27	1,85	2,49	2,84	3,19	3,53	3,87	4,67	5,51	5,95	6,44	7,04	7,63	8,74	9,77	0,04	0,23	0,33	0,40	
2600	1,31	1,90	2,57	2,93	3,28	3,64	3,99	4,81	5,67	6,12	6,63	7,25	7,84	8,97	10,01	0,04	0,24	0,34	0,42	
2700	1,34	1,96	2,64	3,01	3,38	3,74	4,10	4,95	5,83	6,30	6,81	7,44	8,05	9,19	10,24	0,04	0,25	0,35	0,44	
2800	1,37	2,01	2,71	3,09	3,47	3,85	4,22	5,08	5,99	6,46	6,99	7,63	8,25	9,40	10,45	0,04	0,26	0,37	0,45	
2900	1,40	2,05	2,78	3,17	3,56	3,95	4,33	5,22	6,14	6,63	7,16	7,81	8,44	9,60	10,64	0,04	0,27	0,38	0,47	
3000	1,43	2,10	2,85	3,25	3,65	4,05	4,43	5,34	6,29	6,78	7,33	7,99	8,62	9,79	10,82	0,04	0,28	0,39	0,48	
3100	1,45	2,15	2,91	3,33	3,74	4,14	4,54	5,47	6,43	6,93	7,49	8,16	8,79	9,96	10,99	0,04	0,29	0,41	0,50	
3200	1,48	2,19	2,98	3,40	3,82	4,24	4,64	5,59	6,57	7,08	7,64	8,32	8,95	10,12	11,14	0,05	0,30	0,42	0,52	
3300	1,51	2,24	3,04	3,48	3,91	4,33	4,74	5,71	6,71	7,22	7,79	8,47	9,11	10,28	11,27	0,05	0,31	0,43	0,53	
3400	1,53	2,28	3,10	3,55	3,99	4,42	4,84	5,83	6,84	7,36	7,93	8,61	9,26	10,41	11,39	0,05	0,31	0,45	0,55	
3500	1,56	2,32	3,16	3,62	4,06	4,50	4,94	5,94	6,96	7,49	8,07	8,75	9,39	10,54	11,48	0,05	0,32	0,46	0,56	
3600	1,58	2,36	3,22	3,68	4,14	4,59	5,03	6,04	7,08	7,61	8,20	8,88	9,52	10,65	11,56	0,05	0,33	0,47	0,58	
3700	1,60	2,40	3,28	3,75	4,22	4,67	5,12	6,15	7,20	7,73	8,32	9,00	9,64	10,75	11,62	0,05	0,34	0,49	0,60	
3800	1,62	2,44	3,33	3,81	4,29	4,75	5,20	6,25	7,31	7,85	8,43	9,12	9,75	10,83	11,67	0,05	0,35	0,50	0,61	
3900	1,64	2,48	3,39	3,88	4,36	4,83	5,29	6,35	7,41	7,95	8,54	9,22	9,85	10,90	11,69	0,06	0,36	0,51	0,63	
4000	1,66	2,51	3,44	3,94	4,43	4,90	5,37	6,44	7,51	8,06	8,64	9,32	9,93	10,96	11,70	0,06	0,37	0,53	0,64	
4100	1,68	2,55	3,49	4,00	4,49	4,97	5,45	6,53	7,61	8,15	8,73	9,41	10,01	11,00	11,68	0,06	0,38	0,54	0,66	
4200	1,70	2,58	3,54	4,05	4,55	5,04	5,52	6,61	7,70	8,24	8,82	9,48	10,08	11,03	11,64	0,06	0,39	0,55	0,68	
4300	1,72	2,61	3,58	4,11	4,62	5,11	5,59	6,69	7,78	8,32	8,90	9,55	10,13	11,04	11,59	0,06	0,40	0,57	0,69	
4400	1,73	2,64	3,63	4,16	4,67	5,18	5,66	6,77	7,86	8,40	8,97	9,61	10,17	11,03	11,51	0,06	0,41	0,58	0,71	
4500	1,75	2,67	3,67	4,21	4,73	5,24	5,73	6,84	7,93	8,47	9,03	9,66	10,21	11,01	11,41	0,06	0,42	0,59	0,73	
4600	1,76	2,70	3,71	4,26	4,78	5,30	5,79	6,91	8,00	8,53	9,09	9,70	10,23	10,97		0,07	0,43	0,60	0,74	
4700	1,77	2,73	3,75	4,30	4,84	5,35	5,85	6,97	8,06	8,59	9,13	9,73	10,24	10,92		0,07	0,44	0,62	0,76	
4800	1,78	2,75	3,79	4,35	4,88	5,40	5,91	7,03	8,11	8,63	9,17	9,76	10,23	10,85		0,07	0,44	0,63	0,77	
4900	1,80	2,78	3,83	4,39	4,93	5,45	5,96	7,08	8,16	8,68	9,20	9,77	10,22	10,76		0,07	0,45	0,64	0,79	
5000	1,81	2,80	3,86	4,43	4,97	5,50	6,01	7,13	8,20	8,71	9,22	9,77	10,19	10,65		0,07	0,46	0,66	0,81	
5100	1,81	2,82	3,89	4,47	5,02	5,55	6,05	7,18	8,24	8,74	9,24	9,75	10,15			0,07	0,47	0,67	0,82	
5200	1,82	2,84	3,93	4,50	5,05	5,59	6,10	7,22	8,27	8,76	9,24	9,73	10,09			0,07	0,48	0,68	0,84	
5300	1,83	2,86	3,95	4,53	5,09	5,63	6,14	7,26	8,29	8,77	9,23	9,70	10,03			0,08	0,49	0,70	0,85	
5400	1,83	2,87	3,98	4,56	5,12	5,66	6,17	7,29	8,31	8,77	9,22	9,66	9,95			0,08	0,50	0,71	0,87	

$$P_{correa} = P_{base} + P_{suplemento}$$

$$P_{correa} = 5.03 + 0.58 = 5.61 \text{ KW}$$

Con lo cual se determina el número de correas para la aplicación.

$$N_{correas} = \frac{P_c}{P_{base}} = \frac{11.2}{5.61} = 1.99 \sim 2 \text{ correas}$$

La longitud de la correas está determinada por consideraciones de espacio entre la carcasa y el generador, se recomienda una distancia entre ejes mínima de 50 cm. Con la se selecciona una correa de longitud igual a:⁴⁸

$$L_{correa} = 2 * X_{centrosejes} + 1,57 * (D_{menor} + D_{mayor}) + \frac{(D_{mayor} - D_{menor})^2}{4 * X_{centrosejes}}$$

$$L_{correa} = 1569.9 \text{ mm}$$

Estandarizando este valor se tendría que recurrir a una correa A-61 de magnitud de 1572 mm.

5.6.1.5 Eficiencia de la transmisión mecánica por correas trapezoidales

En los sistemas de transmisión de potencia mecánica, existen perdidas en forma de calor a causa de la fricción. En las trasmisiones por correas se presentan perdidas por fricción entre las correas y las poleas. En el manual de Mini y Micro Centrales Hidraulicas se recomienda un rendimiento para transmisión por correas trapezoidales del 96%.⁴⁹

⁴⁸ OPTIBELT POWER TRANSMISSION. "catálogo transmisiones por correas trapezoidales". web.optibelt.com

⁴⁹ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995.p166.

Tabla 23. Rendimientos característicos para transmisiones mecánicas

TIPO DE TRANSMISIÓN	EFICIENCIA %
Transmisiones dentadas	99
Transmisiones por cadena	97 - 99
Transmisiones por correas planas	95 - 97
Transmisiones por correas trapezoidales	96
Transmisiones por tornillo sin fin	75 - 90

Fuente: Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995.p166.

5.7 SELECCIÓN DEL GENERADOR

En el análisis de equipos con la capacidad de prestar el servicio de generación de energía eléctrica a través de la entrega de una energía mecánica dada, se debe tener en cuenta parámetros de adquisición tales como: costos y facilidad de adquisición, ventajas funcionales, costos de mantenimiento, disponibilidad del

Para un sistema como el del presente proyecto donde la condición de generación es de forma aislada, es decir no hay interconexión eléctrica, no es factible la utilización de un generador asíncrono debido a que sería necesario una banco de condensadores muy bien calibrados para que este equipo pueda generar energía de forma autónoma; lo cual se refleja en altos costos de adquisición y poca disponibilidad en el mercado. Por consiguiente se sugiere la selección de un generador síncrono, dentro de los cuales tenemos con escobillas y sin escobillas.

Tabla 24. Comparación Tipos de Generadores

Variable comparativa	Generador síncrono con escobillas	Generador síncrono sin escobillas
Costo de adquisición	\$ 1.100.000	\$ 1.210.000
Disponibilidad en el mercado	100 %	100%
Ventajas funcionales	Nivel bajo de ruido, eficiencia~0.79-0.85	Notablemente silenciosos, Eficiencia~ 0.83-0.9
Mantenimientos	Frecuentes, costosos	Poco frecuentes, Bajos costos.

Fuente: Autores

A través de los datos comparativos de la tabla se selecciona un generador síncrono sin escobillas, con lo cual podemos obtener un mejor valor de eficiencia, y menos gastos de mantenimiento aunque el costo inicial sea un poco mayor.

Cuando se selecciona un generador también se tienen en cuenta varios parámetro, tales como; tensión a generar, velocidad de rotación, frecuencia a generar y el número de pares de polos, del mismo modo otros factores como la temperatura y altura del medio en el cual se va a trabajar.

La potencia generada está dada por la siguiente expresión.

$$P = P_{turbina} * \eta_{transmisionMecanica} * \eta_{Generador} * \eta_{Red\ de\ transmision}$$

$$\eta_{transmisionMecanica} = 0.96$$

$$\eta_{Generador} = 0.83$$

$$\eta_{Red\ de\ transmision} = 0.947$$

$$P_{turbina} = 7\ KW$$

$$P = 7\ KW * 0.96 * 0.83 * 0.947 = 5.28\ KW$$

Como se puede observar con la potencia entregada en el eje, se obtendría una potencia en la vivienda de 5.28 KW, lo cual se excede un poco de los objetivos; según la meta propuesta la potencia que se le debería entregar al generador para conseguir 5 KW en la vivienda sería de 6.7 KW; por lo cual se busca un generador cercano a los 7 KW, pero no menor que 6,7KW.

Tabla 25. Generadores síncrono de 2 polos sin escobillas

Brushless Revolving Field, Self-exciting, 2-Poles, Single phase Condenser Compensating System										
Type		Rated power (KVA)	Max power (KVA)	Efficiency η (%) $\text{Cos } \phi = 1$	MASS B3 (Kg)	Overall Dimensions B3				
						A	B	E	K	D
GSa-s-2	50Hz-3000r.p.m	1.5	1.7	71±2	20	369	139	50	27	24
	60Hz-3600r.p.m	1.7	2.0							
GSa-M1-2	50Hz-3000r.p.m	2.0	2.3	73±2	21.5	384	154	50	27	24
	60Hz-3600r.p.m	2.4	2.8							
GSa-M2-2	50Hz-3000r.p.m	3.0	3.5	77±2	24	414	184	50	27	24
	60Hz-3600r.p.m	3.5	4.0							
GSa-L1-2	50Hz-3000r.p.m	3.3	4.0	79±2	27	444	204	60	31	28
	60Hz-3600r.p.m	4.1	4.8							
GSa-L2-2	50Hz-3000r.p.m	4.1	4.8	81±2	28	454	214	60	31	28
	60Hz-3600r.p.m	4.8	5.8							
GSa-L3-2	50Hz-3000r.p.m	5.0	5.6	83±2	29	464	224	60	31	28
	60Hz-3600r.p.m	5.8	6.7							
Cont.Voltage (V)		110,120,220,230,240,110/220,115/230,120/240								

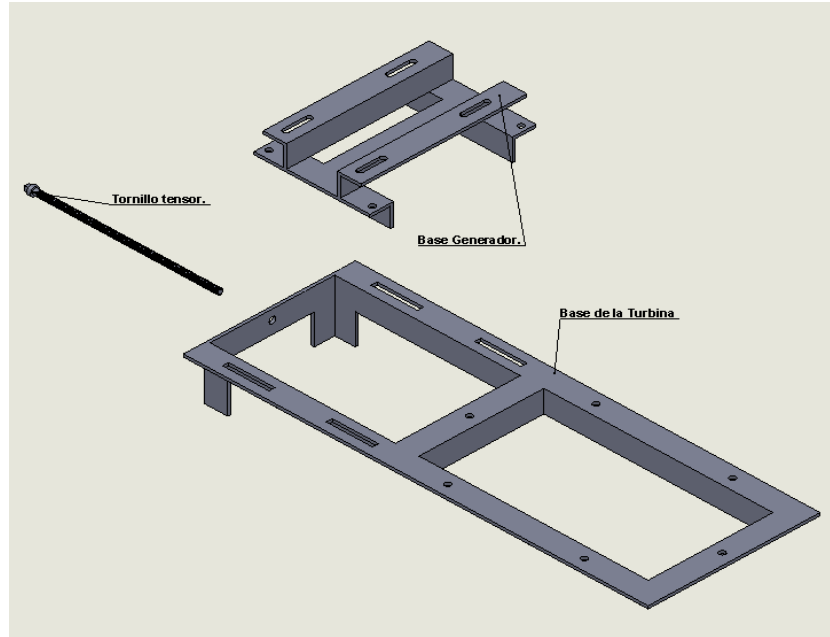
Fuente: <http://www.energiaypotencia.com>

5.8 DISEÑO DEL BASTIDOR DEL CONJUNTO TURBINA GENERADOR

Teniendo en cuenta la necesidad de tener en conjunto todo el sistema turbina generador, además con la intención de generar un buen soporte de la parte estructural en los cimientos de la turbina, se plantea una estructura de apoyo que soporte la carga de la turbina, que permita la flexibilidad de cambio y tensión de correas, y que abarque una gama amplia dimensional de generadores.

Sencillamente el bastidor consta de 3 elementos importantes que son: la base de soporte y cimientos de la turbina, elemento móvil de soporte del generador y tornillo tensor.

Figura 117. Partes del Bastidor

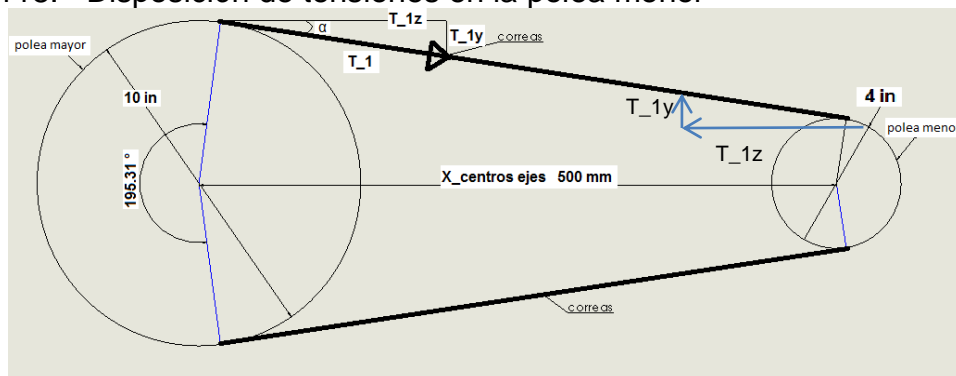


Fuente: Autores

Diseño del tornillo tensor

Para el diseño del tornillo inicialmente se parte de encontrar los valores de las fuerzas que generan tracción en el tornillo, las cuales dependerán de la tensión que se ejercerá en las correas.

Figura 118. Disposición de tensiones en la polea menor



Fuente: Autores

En el diagrama se observa que las mismas tensiones a las que se somete la polea mayor, está sometida la menor, por lo cual: el tornillo estará sujeto a las fuerzas de tensión y la resistencia de fricción que ejerce las guías del bastidor.

$$F_{\text{tornillo}} = T_1 * \cos(\alpha) + T_2 * \cos(\alpha) + W_{\text{generador+carr}} * \mu$$

$$\text{Siendo; } T_1 = 509 \text{ N} \quad T_2 = 183.12 \text{ N}$$

$$W_{\text{generador+carr}} = 35 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 343.35 \text{ N}$$

$$F_{\text{tornillo}} = 737.28 \text{ N}$$

Se considera utilizar un tornillo rosca Acme, de una entrada con paso de 1/10 in.

Diámetro exterior de 1/2 pulgada.

$$d_{\text{primitivo}} = d_{\text{exterior}} - \frac{\text{paso}}{2} = 0.45 \text{ in} = 11.43 \text{ mm}$$

$$T_{\text{tor-tension}} = F_{\text{tornillo}} \left(\frac{d_{\text{primitivo}}}{2} \right) * \left(\frac{l + \mu * \pi * d_{\text{primitivo}}}{\pi * d_{\text{primitivo}} - \mu * l} \right) + F_{\text{tornillo}} * \frac{d_{\text{ca}} * \mu_{\text{ca}}}{2}$$

El tornillo además de estar sometido, a las fuerzas de tensión, se somete a fuerza de torsión ocasionadas en las rosca de la tuerca y en el cabezal del tornillo. A lo cual se les dispone un coeficiente de rozamientos equivalente a $\mu = 0.15$ y $\mu_{\text{ca}} = 0.12$.⁵⁰

$$l = \text{numero de entradas} * \text{paso} = 1 * \frac{1}{10} = 0.1 \text{ in} = 2.54 \text{ mm}$$

$$d_{\text{ca}} = \frac{5}{8} \text{ in} = 15.87 \text{ mm}$$

⁵⁰ BUDYNAS, Richard G y NISBETT, J Kieth. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª. Ed. México: McGraw-Hill, 2008. p 402.

$$T_{tor-tension} = 1.64 \text{ N.m}$$

$$\tau_{tor} = \frac{16 * T_{tor-tension}}{\pi * d_{nuc}^3}$$

$$d_{nuc} = d_{exterior} - paso = 10.16 \text{ mm}$$

$$\tau_{tor} = 7.96 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por tracción se ve indicado así.

$$\sigma_{tor} = \frac{F_{tornillo}}{A_{tor}} = 8.05 \text{ MPa}$$

$$A_{tor} = 0.1419 \text{ in}^2 = 9.15 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Para un tornillo de un acero AISI 1030 $S_{yt} = 430 \text{ Mpa}$, $S_{ys} = 317 \text{ MPa}$. Y en el cual las cargas no serán fluctuantes es decir de bajo ciclo, las consideraciones para el factor de seguridad seria bajo carga estática.

$$N = S_{ys} / \tau = 39.82$$

$$N = \frac{S_{yt}}{\sigma} = 53.41$$

Según las condiciones mostradas un tornillo de ½ pulgada, cumple ampliamente con los requisitos de cargas en el bastidor, su reducción de diámetro puede ser posible, pero debido a condiciones dimensionales del diseño se considera mantener el presente tornillo.

En el análisis CAE se verifico el factor de seguridad del bastidor y se determinó que la estructura responde positivamente a los esfuerzos a los que será sometida.

Figura 119. Análisis CAE Bastidor

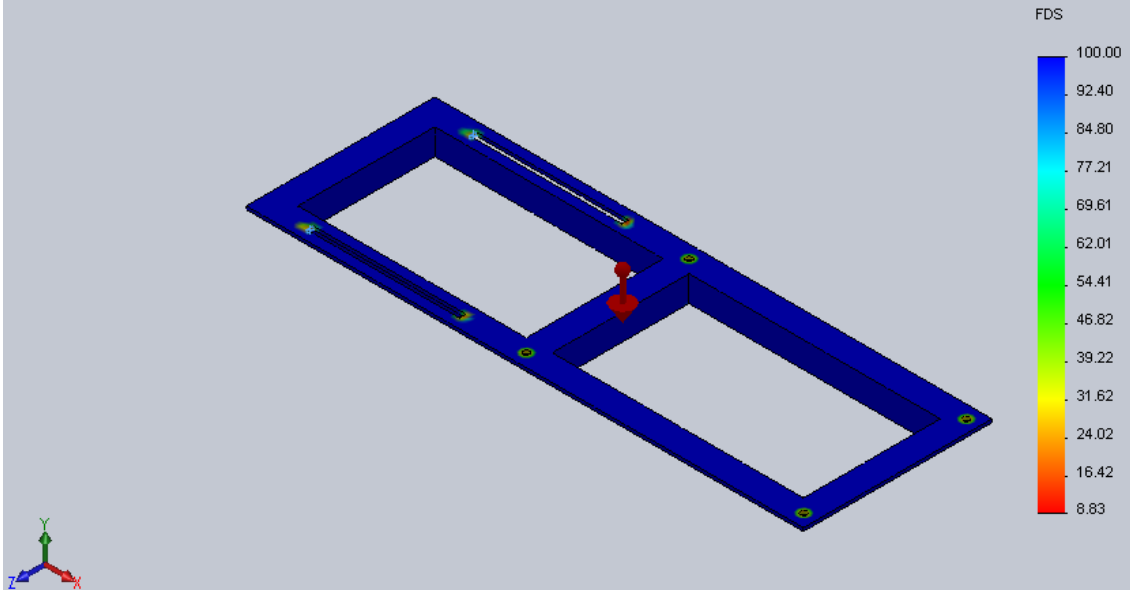
Nombre de modelo: Bastidor Turbina

Nombre de estudio: Estudio 1

Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2

Criterio: Automático

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8.8



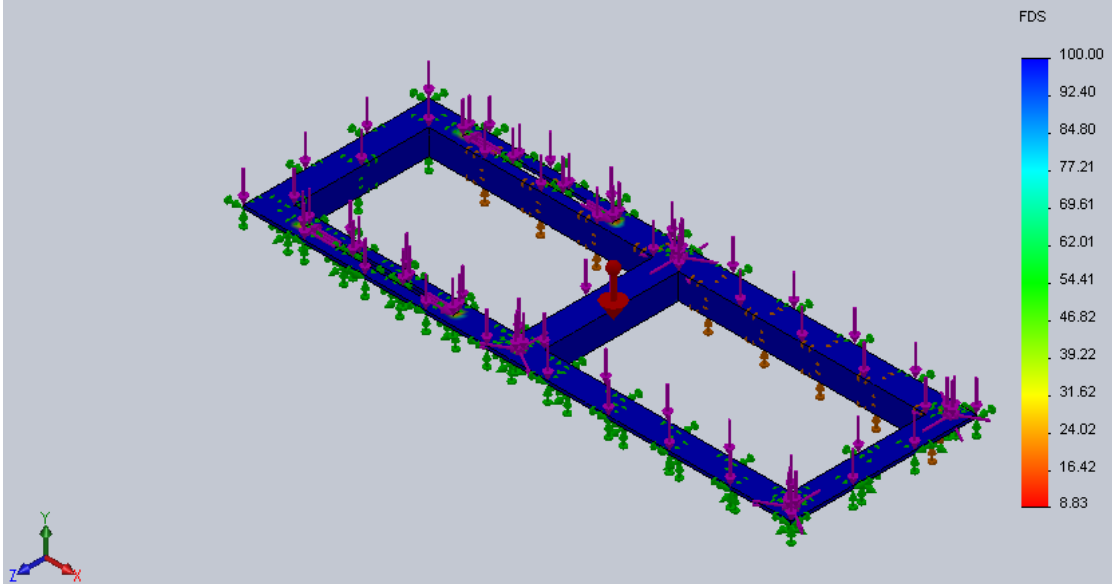
Nombre de modelo: Bastidor Turbina

Nombre de estudio: Estudio 1

Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2

Criterio: Automático

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8.8



Fuente: Autores

5.9 SISTEMA DE REGULACIÓN POR CARGA

En el presente proyecto, la necesidad de disminuir costos, obtener mayor rapidez en la respuesta del control, y facilitar las condiciones de manipulación por los usuarios de los sistemas empleados en el proyecto, se opta por hacer uso de un regulador por carga el cual estará disponible en el proyecto de la siguiente forma.

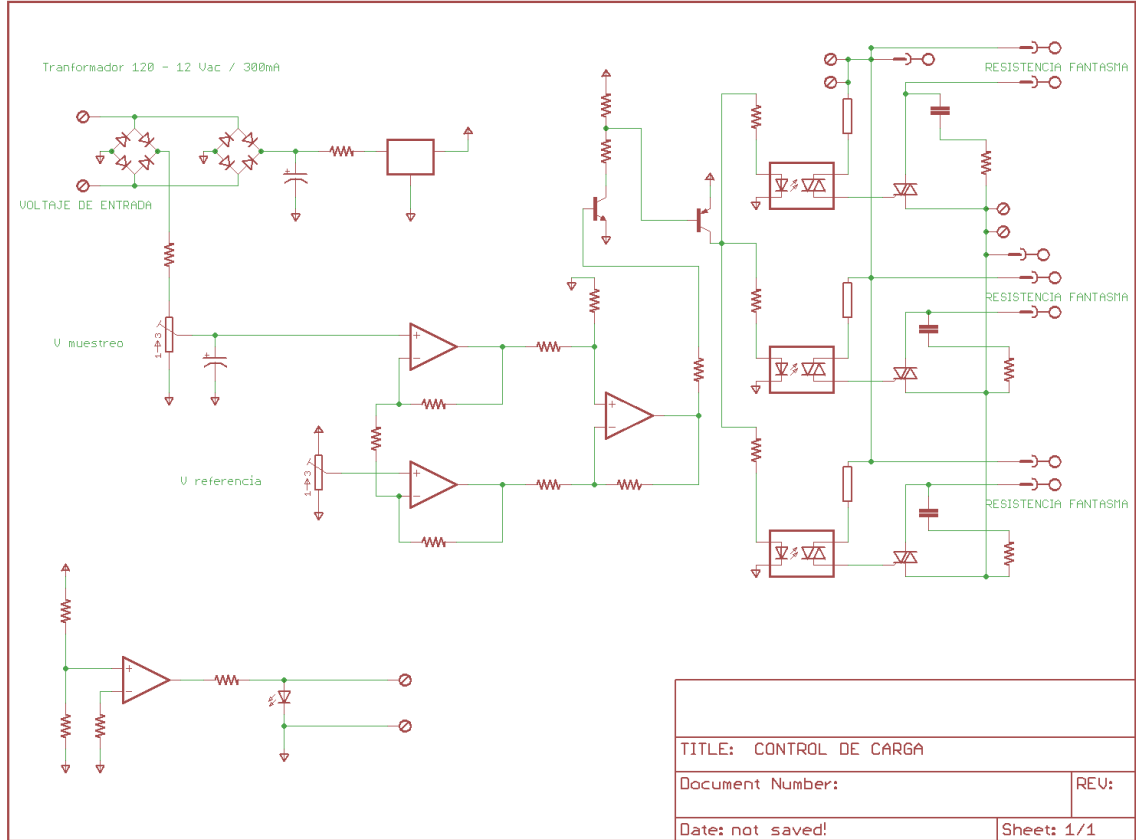
5.9.1 Funcionamiento del sistema de regulación por carga

Básicamente en el presente proyecto se pretende generar una potencia no inferior a los 5 KW, de los cuales según análisis de consumos ya realizados en la vivienda, estudio de futuros proyectos en la finca, aún es posible que en algunas épocas del año, o en términos de algunos espacios del día, la potencia utilizada no sea igual a la consumida. Para lo cual se desea implementar el sistema de regulación por carga que pretende disipar la energía a una resistencia que calentaran agua para uso doméstico.

En cuestiones prácticas, el regulador simplemente pretende mantener constante el voltaje ante una variación de cargas en la vivienda, y lo realiza a través de un mecanismo electrónico que su función principal es mantener un voltaje constante de 120 V r.m.s. asegurando que los equipos electrodomésticos no sufran averías por altibajos de voltaje en la línea de entrada de los mismos.

Este equipo consta de una caja metálica que permite disipar el calor generado por el equipo, un voltímetro análogo para supervisar el voltaje generado, una bornera de conexión donde se conecta la energía suministrada por el generador de la pico central y otras tres conexiones para vincular resistencias, con el fin de controlar la carga instalada.

Figura 120. Representación del sistema de control por carga



Fuente: Electro-net. Ocaña

Figura 121. Regulador de frecuencia por carga



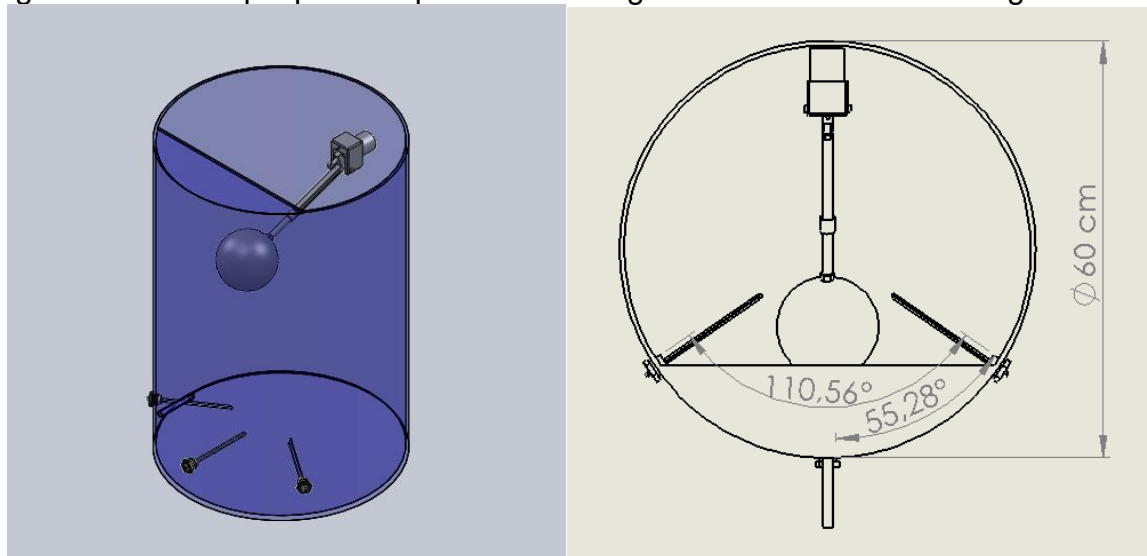
Fuente: Autores

5.9.2 Banco de resistencias

En los sistemas de disipación de energía, se emplean elementos disipadores de energía como las resistencias; que pueden para disipación de calor en aire o para disipación de calor en agua. En el presente proyecto la disipación de calor se realizara en agua, tratando de hacer empleo de la misma en las necesidades domestica de la vivienda.

En banco de resistencia estará equipado para disipar 6 kW, las resistencia serán adaptadas a un tanque en el cual se realizan las operaciones de montaje de las resistencias, y los accesorios de control de nivel a través de la válvula boya. El tanque a instalar debe proporcionar la resistencia a una temperatura máxima de 200 °C, baja conductividad eléctrica y térmica, y condiciones de instalaciones eléctricas que brinden seguridad al usuario.

Figura 122. Tanque para disipación de energía con resistencias sumergidas



Fuente: Autores

5.10 DISEÑO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO Y APAGADO DESDE EL LUGAR DE CONSUMO

Cuando se busca en una picocentral hidroeléctrica, encenderla o apagarla desde un lugar a distancia, inicialmente se parte con ubicar las maneras de cortar el flujo de energía al lugar de consumo.

En las picocentrales hidroeléctrica cabe la posibilidad de controlar su encendido o apagado a través de dos formas; la primera podría ser a través de un interruptor controlado por señales de mando manual que conecte y desconecte la alimentación de energía eléctrica al lugar de consumo, y la segunda enfatiza sobre el control de cierre o apertura de la entrada de energía a la maquina como tal, a través del accionamiento de una válvula.

En el presente proyecto se desea implantar la segunda opción debido a que en la primera idea, se es fácil instrumentar un controlador que aislé o conecte a través de un interruptor las fuente de energía a la vivienda, pero tiene la desventaja de generar un embalamiento en la maquina en el momento de apagado debido a la no presencia de cargas en el sistema, con lo cual se debería implementar otro sistema de control que manipule la entrada de energía a la turbina. Por lo cual dirigirse a la segunda opción sería más conveniente ya que se puede implementar un sistema electromecánico que controle el encendido y apagado de la planta como tal, manipulando la entrada de energía en las turbina, evitando el embalamiento de la maquina en condiciones de fuera de servicio.

Para el sistema de control encendido y apagado, el control se dirige a la manipulación de la válvula de entrada a la turbina, la cual se pretende accionar a través de un moto-reductor, que garantice la apertura y cierre de la válvula en un tiempo que no genere daños en la tubería. Este moto-reductor será controlado a través de un micro-controlador que recibirá las señales de mando en caso de existir la necesidad de apagar, encender la maquina o embalamiento por fallas en el sistema de regulación.

5.10.1 Elementos del sistema de encendido y apagado

5.10.1.1 Válvula de compuerta

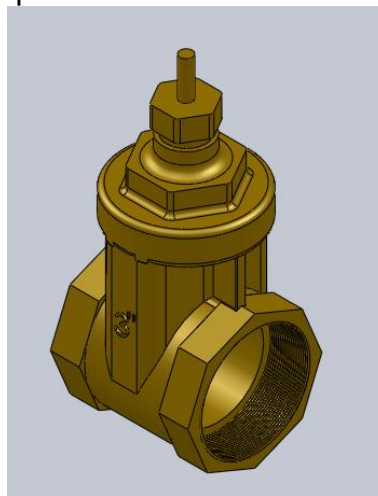
En la presente situación la válvula es el dispositivo mecánico de contacto directo con la fuente de energía hidráulica, que necesita actuadores mecánicos de tipo manuales o eléctricos para habilitar o deshabilitar el paso del agua al rodete.

Tabla 26. Válvula de compuerta RED WHITE class 150 #

CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA DE COMPUERTA	
MARCA:	Red White
Material	Bronce
Diámetro	3 in

Fuente: <http://www.redwhitevalvecorp.com>

Figura 123. Válvula de compuerta



Fuente: Autores

5.10.1.2 Moto-reductor

El elemento que actuara en el vástago de la válvula para ejercer el movimiento giratorio de cierre o apertura, se denomina moto-reductor, este componente debe suministrar un cierre lento (Tiempo crítico de cierre 2.49 segundos. ...Ver numeral 5.3.2...) a la válvula con el fin de impedir el golpe de ariete. Debe ser alimentado

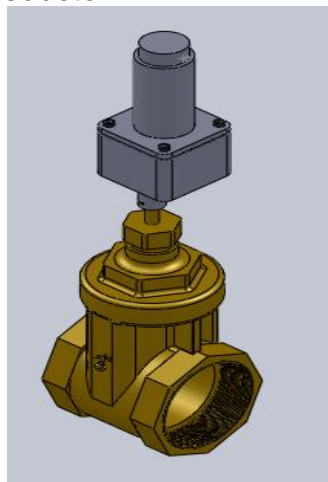
por una fuente externa de corriente continua de 12 VDC y suplir el torque requerido por la válvula.

A fin de conocer el torque de apertura de la válvula de compuerta Red White en Bronce de 3" y rating 150# se realizó medidas con un Torquimetro y se determinó que el torque máximo de apertura y cierre fue de 10N-m. Además se contaron el número de vueltas que hay que suministrar a la válvula para una apertura completa fue de 11 vueltas, que realizadas en el tiempo crítico para golpe de ariete ($T_{critico} = 2.49$ segundos) daría un motorreductor que suministre 10 N-m a una velocidad menor que 265 rpm.

La búsqueda del motorreductor adecuado para esta aplicación tuvo en cuenta criterios como la disponibilidad en el mercado y el costo. Se encontró un motorreductor que se adecuaba a los requerimientos anteriores, su velocidad de rotación es 30 rpm y proporciona un torque de 160 Kg-cm, con un consumo de potencia de 60 W. Verificando el tiempo de cierre de la válvula se tiene:

$$t_{cierre} = \frac{\#vueltas}{RPM_{motorreductor}} = \frac{11}{30rpm} = 22 \text{ segundos} > T_{critico}$$

Figura 124. Válvula y motorreductor



Fuente: Autores

5.10.1.3 Acoples tipo cruceta

Figura 125. Acoples de cruceta



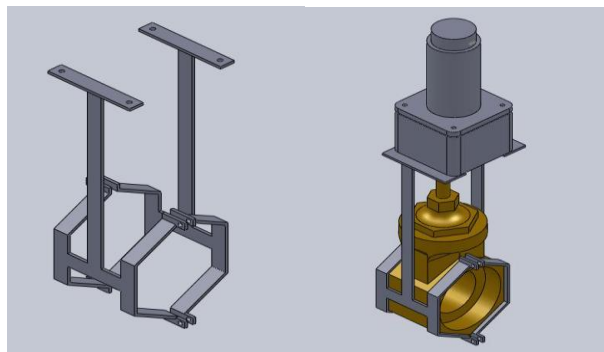
Fuente: <http://bandasytransmisiones.blogspot.com>

Con la intención de transmitir la potencia mecánica del moto-reductor a la válvula, se hace uso de acoples de tipo cruceta, los cuales son aptos para bajas revoluciones y torque altos, además permite gran flexibilidad y por su construcción compacta es muy útil en espacios reducidos como el presente.

5.10.1.4 Bastidor

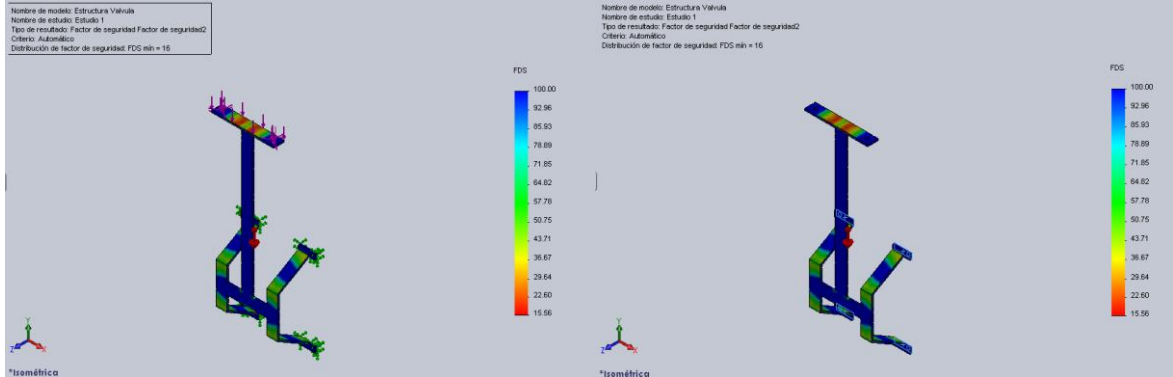
Es necesario implementar una estructura que brinde el soporte del motor y la válvula acoplados, además debe permitir el montaje y desmontaje del motor a la válvula en condiciones de operación.

Figura 126. Bastidor Válvula



Fuente: Autores

Figura 127. Análisis CAE bastidor válvula



Fuente: Autores

5.10.1.5 Micro-controlador

Un micro-controlador es un circuito integrado programable con la disposición de una memoria en la cual hay funciones grabadas por ejecutar. Por lo general consta de una unidad de procesamiento, la memoria, puertos de entradas y salidas.

Figura 128. Micro-controlador MC9S08QE128CLH



Fuente: <http://www.dynamoelectronics.com/>

5.10.1.6 Sensor óptico reflectivo

El sensor es un dispositivo compuesto por un emisor y receptor de luz infrarroja, el cual está contenido en una configuración tipo U, permitiendo detectar, objetos, o posición, en el caso presente genera pulsos al momento de ser interrumpida su rayo infrarrojo.

Figura 129. Foto Interruptor GP1A57HRJ00F

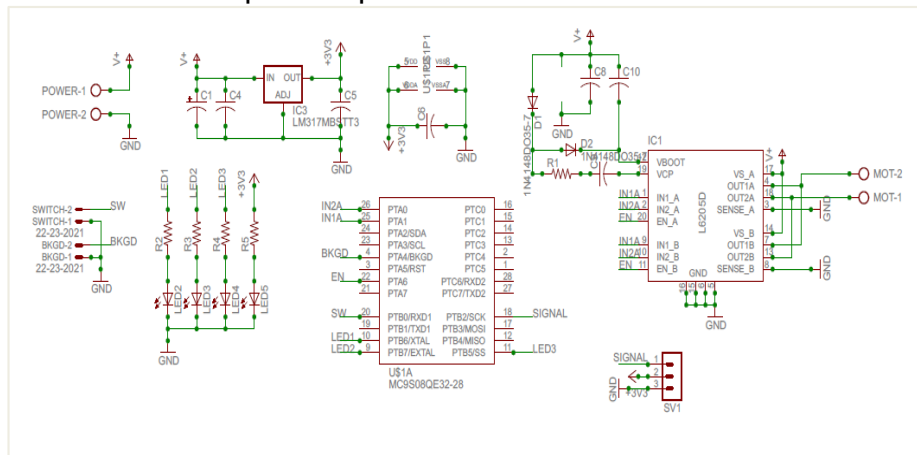


Fuente: <http://www.dynamoelectronics.com/>

5.10.2 Conexiones

Para las respectivas conexiones entre lo que es la fuente de alimentación (batería) para el control, las conexiones del motor, foto-interruptor, y pulsador, y demás dispositivos electrónicos como puente H, condensadores, entre otros, se implementó las siguiente disposición del circuito.

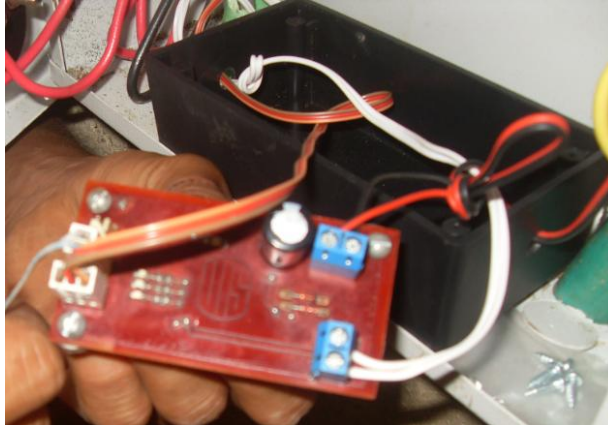
Figura 130. Conexiones para disposición de elementos electrónicos



Fuente: Autores

Considerando las condiciones de humedad, ruido, polvo y entre otras circunstancias del medio, se opta por situar los elementos en una cajilla de control, que brinde las condiciones de protección a los elementos electrónicos.

Figura 131. Dispositivo de control de válvula.



Fuente: Autores.

5.10.3 Programación

Enfatizando sobre las funciones que debe ejecutar, el micro-controlador, se dispone de la siguiente programación, con la cual se pueden ejecutar las funciones de:

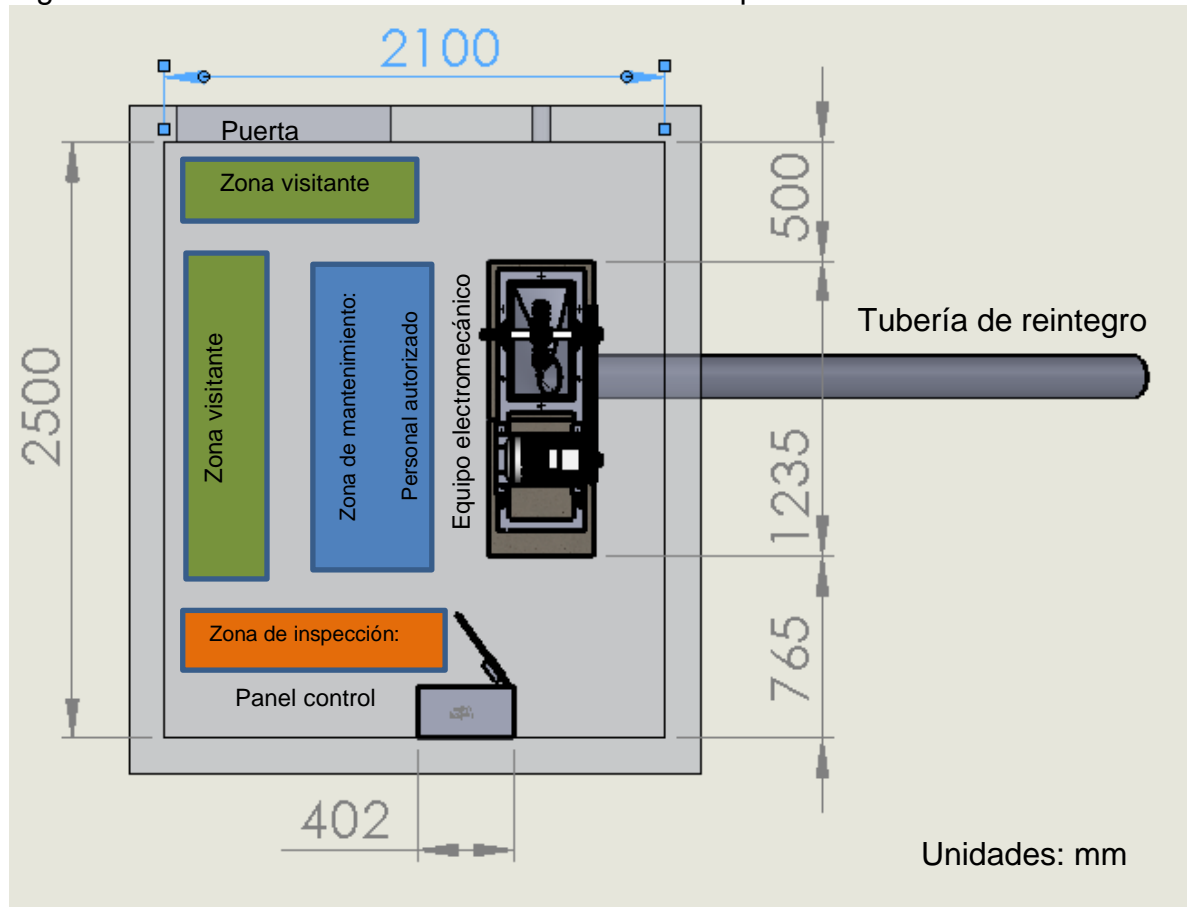
- Una vez iniciado el programa, ante la señal de pulso, la primera acción del sistema es abrir la válvula.
- En estado de funcionamiento, una señal de pulso, invita al sistema a realizar la función contraria a la anterior realizada, es decir, si en algún momento la válvula está abierta y el usuario envía un pulso, el micro-controlador debe enviar la señal de cierre de la válvula.
- En el caso que se presente embalamiento de la máquina, ya sea por fallas del sistema de regulación por carga, o efectos externos, el controlador debe cerrar la válvula, es decir, cerrar la máquina.

Las Líneas de códigos se realizan a través del Software Codewarrior de la empresa Freescale Semiconductors. ...Ver Anexo C...

5.11 DISEÑO DE LA CASA MAQUINA

En la casa maquina se realizara la instalación de equipos los cuales solicitaran una distribución y áreas requeridas para su instalación, operación y mantenimiento.

Figura 132. Elementos distribuidos en la casa máquina



Fuente: Autores

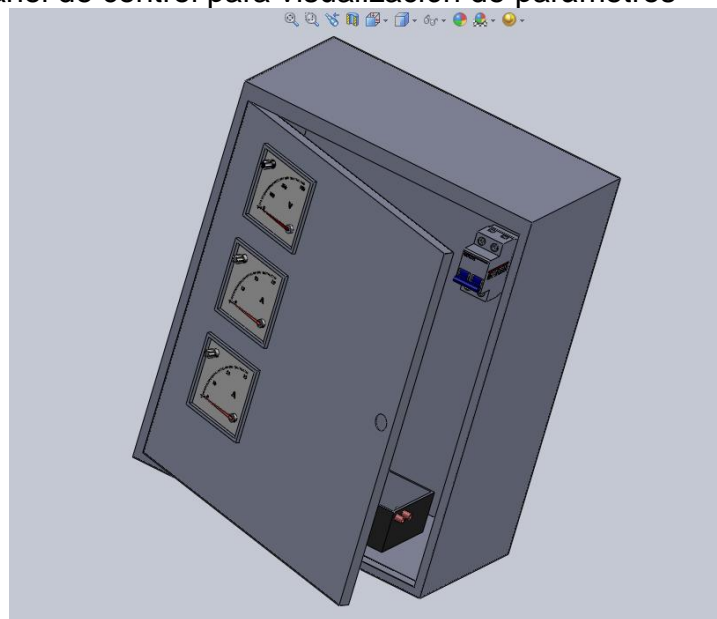
Como se puede observar la casa maquina cuenta con una puerta de ingreso, una delimitación de zonas que se deben poner en práctica a la hora del ingreso de personal visitante, dentro de estas zonas tenemos las zonas del personal visitante, la del personal de mantenimiento directamente en frente de la máquina, y la del

personal de inspección en la cual el usuario rectifica las condiciones de la fuente generadora.

Dentro de los componentes físicos se encuentra el equipo electromecánico junto con los muros de soportes de la planta, la caja de control en donde se visualizará: Un medidor de voltaje con rango de 0 a 300 VCA y uno de corriente con rango de 0 a 30A por cada fase. Teniendo en cuenta la potencia a generar se selecciona un interruptor termomagnético bipolar de 30A, con el fin de proteger los equipos ante un flujo de corriente elevado.

También la casa maquinas cuenta con una tubería de ingreso de agua a la turbina y la de reintegro al cauce natural, cuenta con otros accesorios como el techo, tubería conduit, para conexiones internas y demás accesorios que brinda las condiciones de protección a los equipos ante agentes externos.

Figura 133. Panel de control para visualización de parámetros



Fuente: Autores

5.12 DISEÑO DE LA RED DE TRANSMISIÓN

La vivienda de la finca Mirasol está ubicada a 500 metros de la casa máquina, por tanto es necesario construir un sistema de transmisión de potencia de bajo voltaje que permita llevar la energía eléctrica hasta el lugar de consumo. El Diseño de la red de transmisión se divide en dos partes. El diseño eléctrico, basado en la NTC 2050 y el diseño mecánico.

5.12.1 Diseño eléctrico de la red de transmisión

El diseño de una red de transmisión a baja tensión, se debe tener en cuenta la potencia transmitida por la red, el voltaje que se desea manejar y el perfil del terreno en el cual se establecerán la línea de transmisión.

$$P_{transmitida} = 5.28 \text{ KW}$$

En la instalación propuesta se desea realizar una instalación monofásica trifilar, en donde se tendrían dos fases de (120 V) y un neutro.

Dentro de los diseños de redes se calcula la caída de tensión en la red que no debe sobrepasar un valor del 7 %, para lo cual se selecciona un alambre ACSR AWG 2 que evita altas caídas de tensión y prevalece al soporte de la tensión en los vanos que se indicaran posteriormente.⁵¹

$$\Delta V = Z_{ef} * L * I$$

ΔV = caída de tensión en voltios

Z_{ef} =impedancia eficaz en ohm/km

L= longitud del circuito en km

⁵¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código eléctrico colombiano. NTC-2050. Bogotá D.C.: INCONTEC, 1998. 1041 p.

I=corriente del circuito A.

Tabla 27. Caída de tensión en la red⁵²

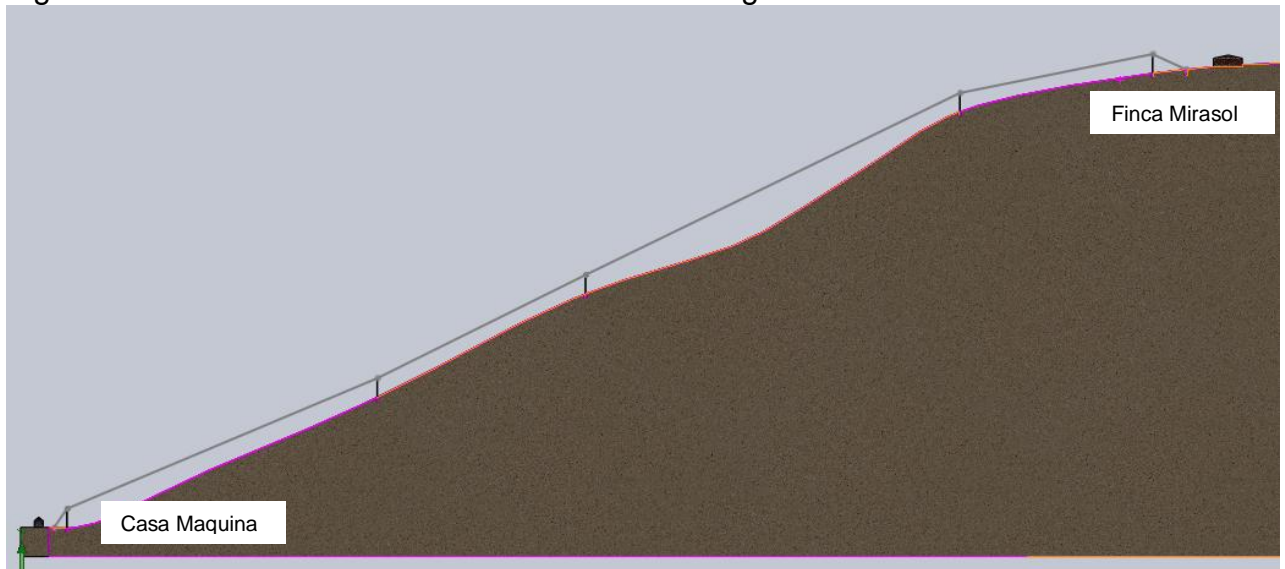
CAÍDA DE TENSIÓN EN LA RED PARA VARIOS CALIBRES DE CABLE			
ACSR	Resistencia a la corriente alterna (ohm/km)	Caída de tensión (voltios)	%
4	1.653	16.236	7.38 %
2	1.040	12.48	5.6 %
1/0	0.654	7.848	3.5 %

Fuente: Autores

Cálculo de las flechas en los vanos

El sistema de redes empleado en el proyecto cuenta con una distancia próxima a los 500 metros, en donde se implanta 5 postes de apoyo, garantizando las distancias mínimas de las redes al suelo, las cuales tienen un equivalente de 5 metros a la zona de arbustos.

Figura 134. Perfil de líneas de transmisión de energía



Fuente: Autores

⁵² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código eléctrico colombiano. NTC-2050. Bogotá D.C.: INCONTEC, 1998. 1041 p.

Flechas en los vanos

Las redes dispuestas en el proyecto cuentan con cuatro vanos de los cuales el vano más crítico le concierne una distancia próxima a los 180 metros, para lo cual se le realiza un estudio de la flecha en ese tramo y su distancia mínima al suelo.

$$f_{flecha} = \rho_{cable} * L_{vano}^2 * \frac{\cos^2(\alpha)}{8 * T_{cables}}$$

ρ_{cable} = peso específico del cable ACSR AWG 2, 136 kg/km.

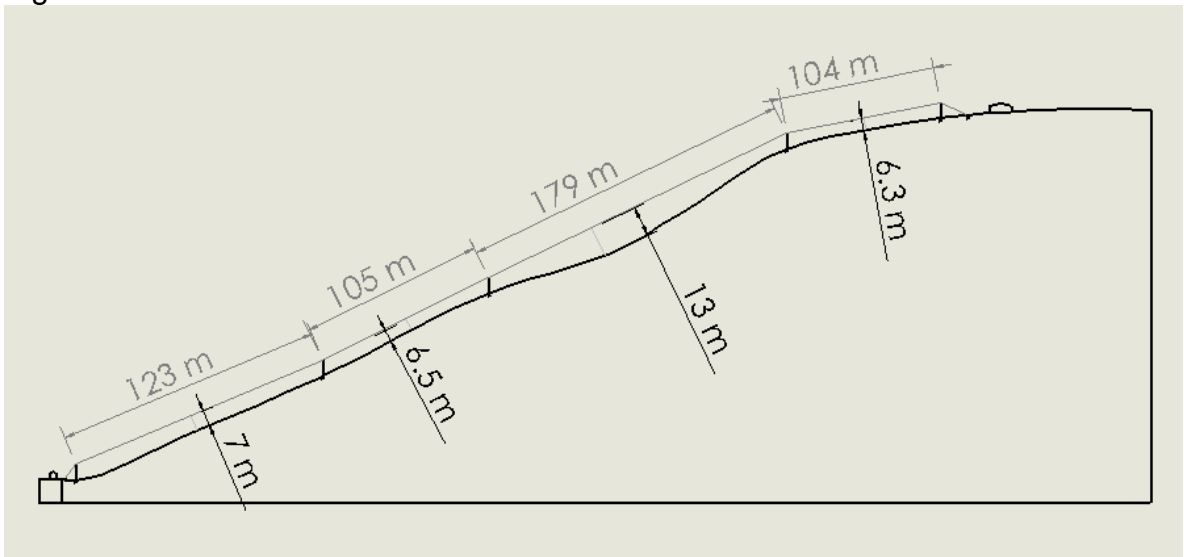
L_{vano} = longitud del vano, 180 metros.

T_{cables} = tensión en cables, 250 kg

α = ángulo de inclinación entre dos puntos de apoyos, 30 °.

$$f_{flecha} = 0.136 * (180)^2 * \frac{\cos^2(39^\circ)}{8 * 250} = 1.3 \text{ metros}$$

Figura 135. Distancia mínimas al suelo



Fuente: Autores

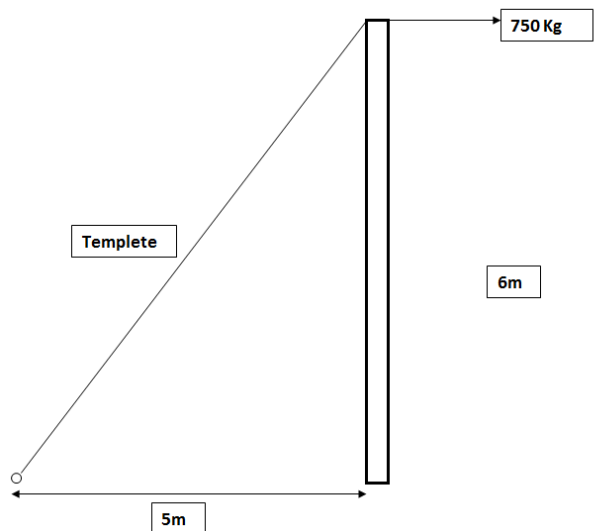
Como se puede observar en el perfil las redes en el vano más crítico tienen una distancia al suelo de 13 m en el punto crítico de la flecha, con lo cual restando el valor de flecha máxima, todavía se garantiza en la red las distancias mínimas sugeridas por la NTC 2050. En cuantos a los otros vanos, sus valores de flecha son menores y sus mínimas distancias al suelo son superiores a los 5 metros.

5.12.2 Diseño Mecánico de la red de transmisión⁵³

Diseño de Postes

Para el cálculo mecánico se los postes se parte de condicionar las cargas en el postes a compresión debido a que el concreto posee excelentes comportamientos ante este tipo de cargas, los postes críticos están expuestos a tensiones del cables 250 kgf, el cual lleva 3 cables y un templete.

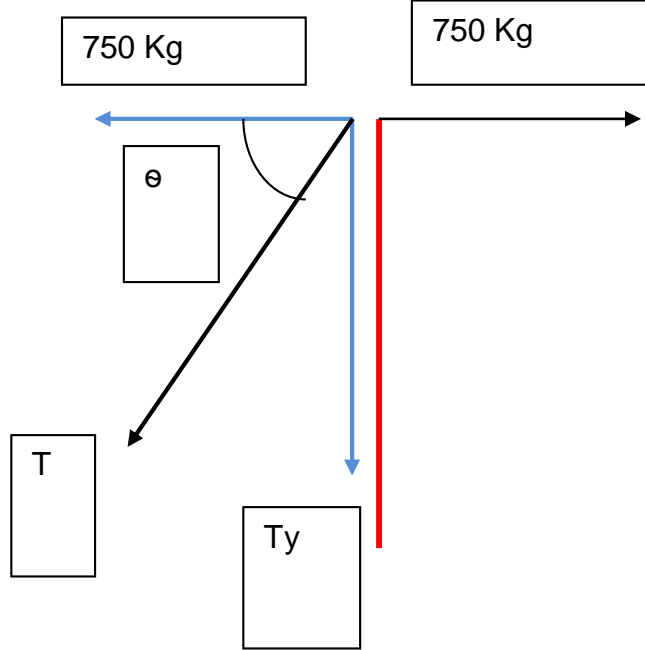
Figura 136. Cargas puestas en el poste crítico



Fuente: Autores

⁵³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente: concreto estructural. NSR-10-C. Bogotá D.C. AIS, 2010. 578 p.

Figura 137. Estática del Poste



Fuente: Autores

$$\cos \theta = \frac{750 \text{ Kg}}{T}, \quad \theta = 50.2^\circ, \quad T_{\text{templete}} = \frac{750 \text{ kg}}{\cos \theta} \quad T_{\text{templete}} = 1171.67 \text{ kg}$$

La resistencia nominal del acero utilizado en las guayas de los templete es equivalente a 420 MPa, y su módulo de elasticidad de 200 GPa bajo deformación permanente.

$$\sigma = \frac{T_{\text{templete}}}{A_{\text{cable}}} = \frac{11.44 \times 10^3 \text{ [N]}}{\frac{\pi \left(\frac{1}{4} * 0.0254\right)^2}{4} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$\sigma = 361.23 \text{ [MPa]}$$

El alma de acero utilizada de acero galvanizado es de 1/4" de diámetro nominal, el cual resiste la cantidad solicitada.

Para el cálculo de las fuerzas en la estructura del poste:

$$Ty = 750 \text{ kg} * \tan(\theta)$$

$$Ty = 900.18 \text{ kg}$$

$$Ty = 8.83 \text{ [KN]}$$

La carga axial que recibe la estructura del poste está compuesta de la componente de fuerza vertical del templete y su peso propio, el cual se determina así:

Dimensiones del poste 0.2m x 0.2m x 6m.

$$W_{\text{poste}} = 24 \left[\frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right] * 0.20[\text{m}] * 0.20[\text{m}] * 6[\text{m}] = 5.76 \text{ [KN]}$$

La carga P mayorada según la NRS-10 B.2.4 – Combinaciones de carga mayorada:

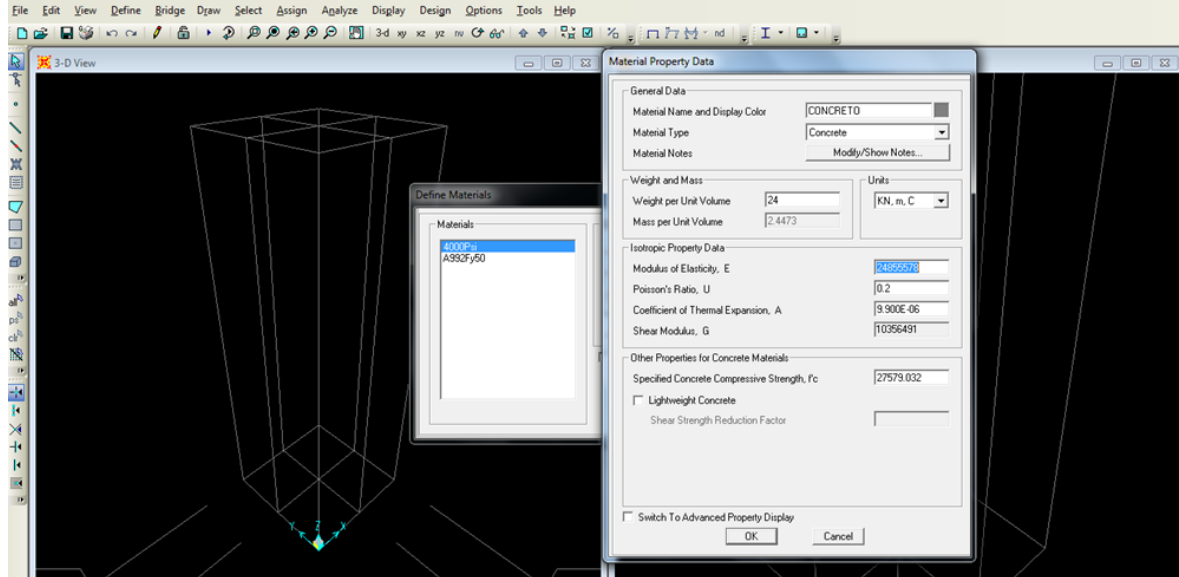
En el término de cargas para el postes mostrados se utiliza la combinación (B.2.4-2) donde solo se presenta carga muerta con un factor multiplicador de 1.2

$$P_n = 1.2 * (8.83 + 5.76) = 17.5 \text{ [KN]}$$

Diseño a Flexión de la estructura del poste:

El poste no presenta solicitaciones que generen un valor considerable de momento flector:

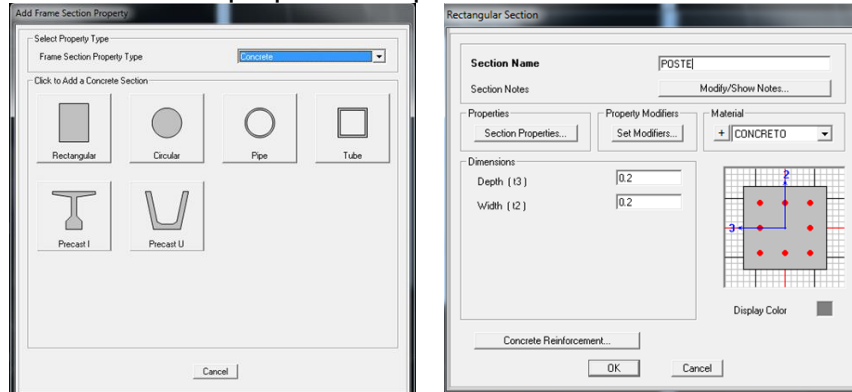
Figura 138. Simulación de cargas en SAP- 2000



Fuente: Autores

Posteriormente se realiza la selección del material y las propiedades de la sección de poste.

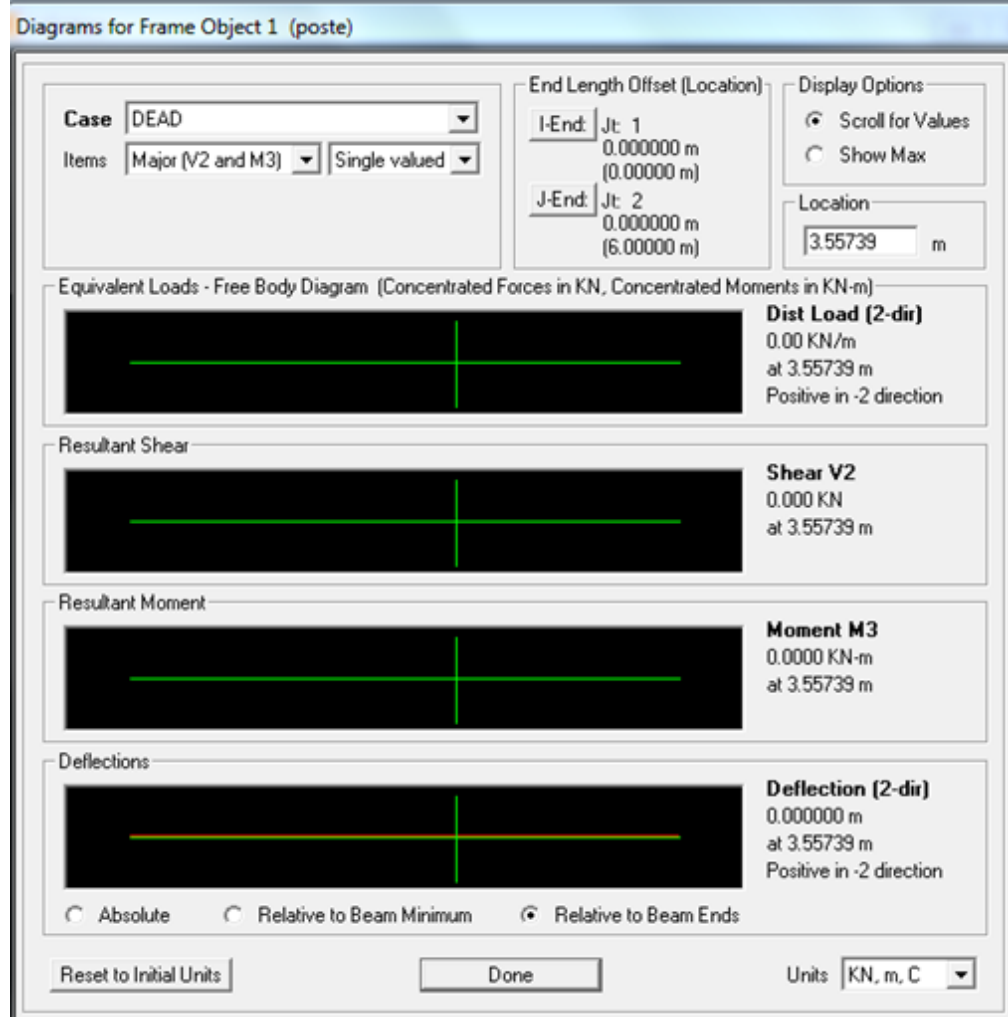
Figura 139. Selección de propiedades para simulación



Fuente: Autores

Una vez ubicadas las cargas se obtiene los diagramas equivalentes de cortante, momento flector, torsión y carga axial a la cual se expone el poste.

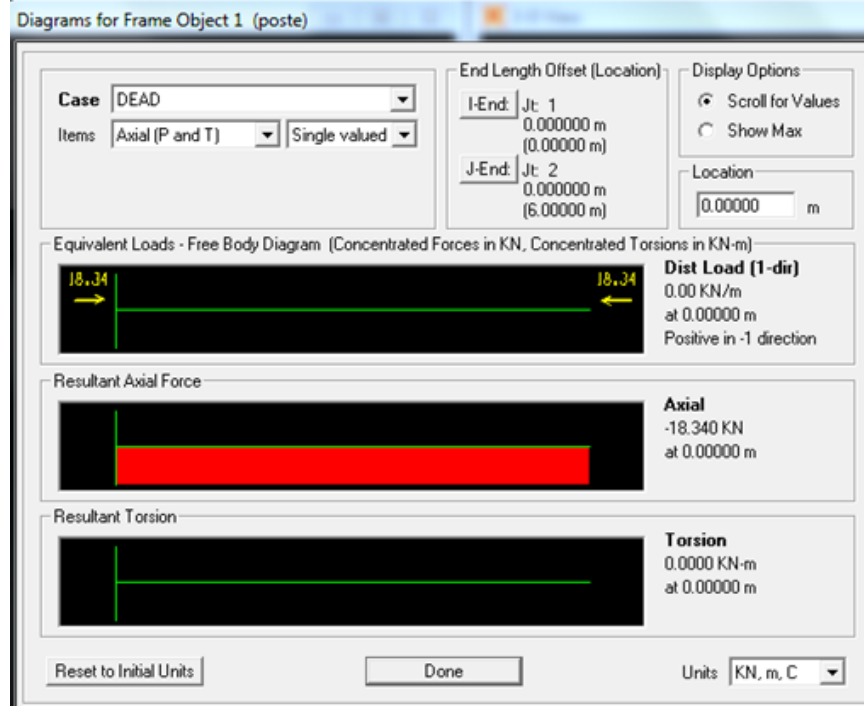
Figura 140. Diagramas de cortante y momento para el poste.



Fuente: Autores

Como se puede observar en los diagramas, el poste no sufrirá por cargas flectoras en sus condiciones de operación, por lo general estará sometido únicamente a cargas de tipo axial.

Figura 141. Diagrama de carga axial y torsión en el poste



Fuente: Autores

Para el diseño del refuerzo a flexión la fundamentación está dada por la norma NSR-10 c.10.9- LÍMITES DEL REFUERZO DE ELEMENTOS A COMPRESION.

En la cual se expone que el límite mínimo del área de refuerzos en elementos a compresión sin la presencia de momentos flectores es de: $0.01 A_g$.

De donde:

$$A_g = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = \text{equivalente al area bruta del concreto}$$

$$\text{cuantia de refuerzo} = 0.01 * (20\text{cm} \times 20\text{cm}) = 4 \text{ cm}^2$$

Para lo cual 4 varillas corrugadas #4, lo que equivalen a 5.06 cm^2 , se ajustan a la condición satisfactoriamente.

Diseño de los refuerzos transversales

Para el cálculo de este tipo de refuerzos se siguen los parámetros nombrados en la NSR-10 c.11.2.1.2

Manifiesta que para elementos sometidos a compresión axial el valor de esfuerzo por cortante está dado por.

$$V_c = 0.17 * \left(1 + \frac{N_u}{14 * A_g} \right) * \lambda_{poste} * \sqrt{f_c''} * b_w * d_{ref}$$

N_u = carga axial en el poste, 17.5 KN.

A_g = sección transversal bruta del concreto, 20 cm x 20 cm.

b_w = ancho del alma en mm, 200 mm.

d_{ref} = distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo, mm

f_c'' = resistencia específica a la compresión del concreto, 21 MPa.

λ_{poste} = factor de modificación de propiedades mecánicas del concreto.

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{17.5 \times 10^3 [N]}{14 (200 * 200) [m^2]} \right) (1) \sqrt{21} [MPa] * \frac{(200)(160) [m^2]}{1000}$$

$$V_c = 25.7 MPa$$

Al no existir fuerzas de corte no se requiere refuerzos a cortante, con lo cual el concreto asume la resistencia total.

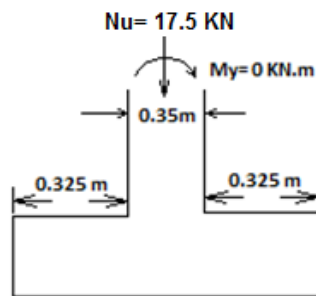
El espaciamiento del refuerzo transversal está dado por las condiciones expuestas en la NSR-10 c.11.4.5

En la consideración de utilizar estribos #2, el espaciamiento de los mismos, está limitada a los valores de $d_{ref}/2$ en elementos de concretos preesforzados y 600 mm como espaciamiento máximo. Siendo d_{ref} la distancia efectiva desde la fibra más alejada de concreto a la última fila de aceros medida desde su centro. Teniendo en cuenta un recubrimiento de 4 cm fundamentados de la norma NSR-10.c.7.7

Considerando los límites de espaciamiento entre estribos es de 300 mm, lo cual no supera el límite impuesto en la norma.

Diseño de la cimentación

Figura 142. Cargas en la zona de cimentación



Como se puede apreciar no hay momento flector presentes en la cimentación, por lo cual el único efecto que puede presentar es el aplastamiento, por tal motivo se diseña con la cuantía mínima de refuerzo.

$$A_{ref-c} = (\rho_{minima} * L_{pedestal} * \sigma_{acero}) / 100 = 7.56 \text{ cm}^2$$

De donde:

A_{ref-c} = área de refuerzo. cm^2 .

ρ_{minima} = cuantía mínima de refuerzo. 0.0018.

σ_{acero} = límite de fluencia del acero. 420 Mpa.

Con lo cual se considera utilizar 4 barras #5 en ambas direcciones para cumplir con los requerimientos de la parrilla en el pedestal....Ver Anexo E....

5.13 CALCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA A GENERAR.

Eficiencia grupo Electromecánico de la Planta

$$\eta_{electromecanica} = \eta_{Turbina} * \eta_{Transmision} * \eta_{Generador} * \eta_{Red\ de\ transmision}$$

$$\eta_{Turbina} = 0.8$$

$$\eta_{Transmision} = 0.96$$

$$\eta_{Generador} = 0.83$$

$$\eta_{Red\ de\ transmision} = 0.947$$

$$\eta_{electromecanica} = 0.6$$

La potencia a generar es:

$$Potencia = \rho_{agua} * g * H_n * Q * \eta_{electromecanica}$$

$$Potencia = 997 * 9.81 * 89.78 * 0.01 * 0.6 = 5268 [W]$$

6. CONSTRUCCIÓN

6.1 FABRICACION DE MODELOS

Para este proyecto el proceso de fundición utilizado fue la fundición en arena, ya que permite el trabajar metales a alta temperatura y su costo se reduce considerablemente frente a otro tipo de fundición. En el caso de este proyecto se fundieron en hierro gris el rodete, la carcasa y el inyector.

El proceso general de la fundición en arena comienza con la fabricación de los modelos de las piezas a fundir, luego este modelo se coloca entre la arena para generar una cavidad negativa y se ubican los sistemas de alimentación que guiaran el metal fundido hacia las cavidades del molde. Una vez el metal se solidifica al interior de la cavidad se destruye e molde y se extrae la pieza terminada.

Modelo del Rodete

La fabricación del modelo para el rodete es el proceso más delicado ya que este contiene las dimensiones más importantes en una turbina pelton. La eficiencia de la maquina se ve directamente afectada por cualquier modificación en las dimensiones de la cuchara.

El rodete pelton se puede construir en una sola pieza o se construyen las cucharas por separado y se apernan en la periferia de un disco. En este proyecto se optó por la fundición en una sola pieza a fin de disminuir la probabilidad de errores en el montaje de las cucharas por separado y evitar soldadura entre las partes del rodete a causa del desajuste de los pernos producido por la fatiga que genera la interferencia entre el chorro y la cuchara.

Para la creación del modelo para el rodete en una sola pieza se consideró la posibilidad de fabricar los modelos en cera o en madera.

Figura 143. Modelos del rodete en cera.



Fuente: Autores

Por condiciones de construcción, costos y factibilidad ante fundiciones erróneas se realizó la construcción de los modelos en madera.

Inicialmente se realizó la construcción de los modelos del rodete ya que era una de las piezas que requería mayor trabajo y necesitaba más tiempo de fabricación.

Figura 144. Modelos del rodete en madera



Fuente: Autores

Fue necesaria la creación de una caja de machos en madera en el cual se copiaron la parte cóncava y convexa de la cuchara en porciones sucesivas e intercaladas con igual separación angular a fin de obtener una distribución

equitativa de las 22 cucharas. A fin de garantizar las dimensiones de la cuchara y que el acabado superficial fuera lo más pulido posible se utilizó una arena especial. Arena sílica mezclada con bentonita (aglutinante de tipo arcilloso) en una proporción del 3% del peso de la arena seca.

Figura 145. Caja de machos en madera



Fuente: Autores

Figura 146. Machos en arena sílica con bentonita



Fuente: Autores

Una vez realizados los machos, se procede al taller de fundición donde se realiza el armado de toda la pieza como tal, y se dispone de vertederos para el ingreso del metal fundido.

Modelos de la Carcasa

La carcasa se diseñó en dos partes separadas por un plano horizontal, en la parte inferior se soportan el eje con el rodete por medio de chumaceras bridadas y el inyector. La parte superior corresponde a la tapa, que permite la inspección de la máquina.

Una vez tomadas las dimensiones del diseño, se fabricó el molde para posterior fundición.

Figura 147. Modelos de la carcasa en madera



Fuente: Autores

Modelo del Inyector

El modelo de la tobera al igual que la carcasa se construye en madera de manera que la reducción del diámetro quede con las dimensiones aproximadas a la pieza final. Donde solo sea necesario pulir internamente para obtener un acabado superficial lo más liso posible a fin de disminuir pérdidas de energía.

Figura 148. Modelo del inyector en madera



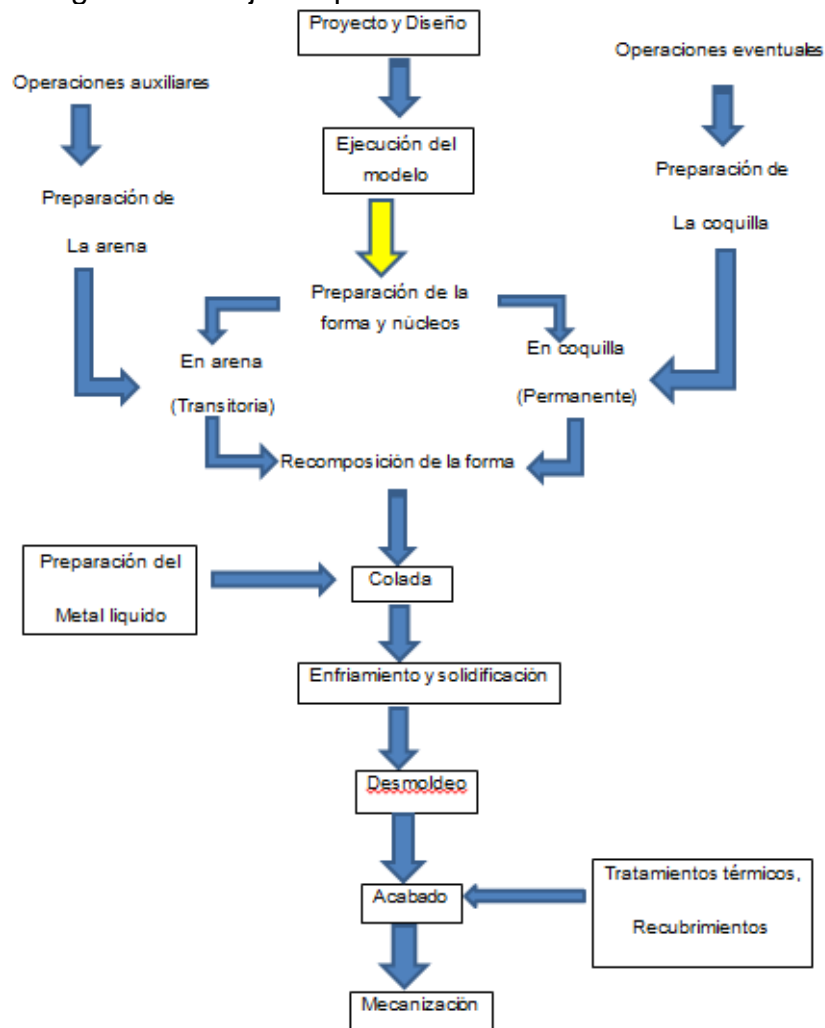
Fuente: Autores

6.2 FUNDICIÓN DEL RODETE

La fabricación de piezas en fundición en arena es uno de los procesos comúnmente utilizados en la construcción de turbinas; por lo general contiene una serie de operaciones sucesivas que conllevan a la obtención de una pieza fundida.

Luego de tener el modelo en madera, se procede a la etapa de moldeo, donde se copia el negativo de las piezas y generar la cavidad en la arena donde se depositará el metal fundido.

Figura 149. Diagrama de flujo del proceso de fundición



Fuente: Autores

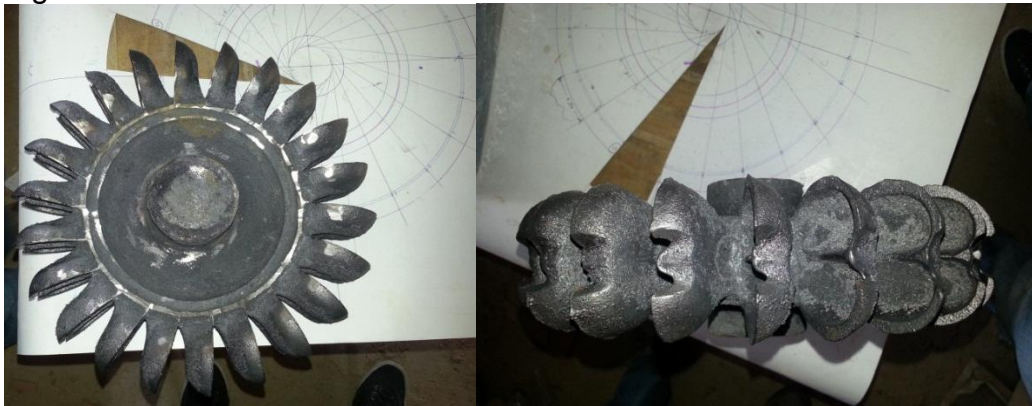
Figura 150. Fundición del rodete



Fuente: Autores

Esta operación de fundición se realizó por tres oportunidades debido a imperfecciones en el rodete. Obteniéndose finalmente el rodete diseñado.

Figura 151. Rodete Pelton fundido



Fuente: Autores

6.3 FUNDICIÓN DE LA CARCASA

La carcasa es una de las piezas de la máquina de poca exigencia constructiva, ante tolerancia dimensionales, ya que por lo general es de un tamaño

considerable, en su construcción se realizó un procedimiento similar a las realizadas para la construcción del rodete.

Figura 152. Carcasa fundida



Fuente: Autores

6.4 FUNDICIÓN DEL INYECTOR

El inyector fue fundido en dos piezas, la tobera que lleva una reducción cónica prefabricada, con una arista que será bridada con una segunda pieza que se acoplara a la carcasa de la turbina.

Figura 153. Tobera fundida



Fuente: Autores

6.5 MECANIZADO DE PIEZAS

En el proceso de mecanizado de piezas, se implementaron diversos procesos en las piezas fundidas, entre los cuales esta taladrado, pulido, torneado, fresado y entre otros procesos que permiten el ensamble de la máquina.

La carcasa es una de las piezas que más requiere procesos de mecanizado y una alta precisión, ya que en ella se instauraran elementos como el eje, las chumaceras y sujeción del inyector, que exigen perfecta alineación a fin de obtener la mejor eficiencia posible.

El orificio del inyector se realizó con un taladro tipo columna, el cual cuenta con una mesa que brinda la flexibilidad de ejercer taladrados en distintas superficies inclinadas con manipulación de posicionamiento de la pieza.

Figura 154. Procesos de mecanizado en la carcasa



Fuente: Autores

El proceso de mecanizado del rodete se ejerció de la manera más cuidadosa, tratando de garantizar las rigurosas dimensiones de la pieza, y las superficies adecuadas en la parte interna de la cuchara. Por tanto fue necesario realizar un proceso de pulido con un motor-tools y piedras abrasivas hasta obtener una superficie lo más lisa posible.

En cuanto al mecanizado, se realizó un refrentado a lado y lado del rodete con el objetivo de retirar las rebabas y se realizó el mecanizado del hueco y cuñero para el acople del eje.

Figura 155. Pulido de las cucharas del rodete



Fuente: Autores

6.6 CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA BASE Y ENSAMBLE DE COMPONENTES

En la fabricación de los elementos de soporte, se realizaron procesos de soldadura, taladrado, conformado y corte de perfiles. Para la sujeción de la carcasa al bastidor se optó por fijar los pernos al bastidor con el fin de facilitar el proceso de instalación de la maquina al bastidor y a los cimientos en la casa máquina.

Figura 156. Bastidor conjunto Turbina-Generador



Fuente: Autores

Como se puede observar el bastidor cuenta con el tornillo tensor de $\frac{1}{2}$ in acero galvanizado, y la base móvil del generador hecha en perfil angular de acero estructural de espesor $\frac{3}{16}$ in, la cual brinda la posibilidad de disposiciones dimensionales variables, además permite la alineación y tensión de correas.

Una vez fabricada la estructura base procede a realizar el ensamble de la máquina, con el cual se corroboran que la disposiciones de los elementos en la máquina.

Figura 157. Ensamble de piezas de la turbina



Fuente: Autores

Con el ensamble de todos los elementos en la carcasa, se realiza la instalación de la carcasa al bastidor y los otros componentes del equipo, como lo son el generador y los elementos del sistema de transmisión.

Figura 158. Ensamble equipo electromecánico



Fuente: Autores

6.7 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DE APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA

En los procesos de manufactura que le conciernen al control de apertura y cierre de la válvula, simplemente se efectuaron procesos de dobles, soldadura y alineación para acoples del motor a válvula de compuerta.

En el sistema de control de la válvula se implementó un motor a 12 VDC, de 60 W, un acople tipo cruceta, y una válvula de compuerta de 3 in class 150, en bronce.

Figura 159. Ensamble válvula + moto-reductor



Fuente: Autores

Como se puede observar el motor se encuentra instalado hacia la parte superior de la válvula, y soportado por una estructura acoplada al cuerpo de la válvula.

La válvula esta acoplada a la conexión del inyector y al acople de la tubería. Para el sistema de control de embalamiento se dispuso de foto-interruptor o sensor óptico reflectivo de configuración tipo U de la serie GP1A57HRJ00F. Instalado a través de una lámina metaliza de aluminio unida a la carcasa con la cual se le brindo el soporte y la posición adecuada para la medición de las revoluciones del eje de la turbina. En el eje de la turbina se colocó un disco de teflón de 10 cm, con

una muesca en la zona perimetral del disco que genera la interrupción de la luz infrarroja del sensor.

Figura 160. Instalación sensor óptico reflectivo



Fuente: Autores

La orden de apertura y cierre de la válvula se realiza desde la finca mirasol por medio del accionamiento de un pulso que viaja por un conductor eléctrico Dúplex 2X22 AWG instalado con las redes de transmisión, amarrado sobre una de las líneas cada 2 metros por medio de Tirrap plásticos con el objeto de impedir que por su propio peso se partan los hilos conductores y garantizar la continuidad del pulso.

Figura 161. Instalación del Cable Pulso Remoto.



Fuente: Autores

6.8 CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE CAPTACIÓN

En el proceso de construcción de las obras de captación, se siguen una serie de pautas que contribuyen a que en las obras de captación no existan problemas de funcionamientos de las bocatoma, dificultades a la hora de construcción y además que las obras no generen daños alarmantes en el medio en el cual se instalan.

- Inicialmente se realiza una visualización general de la ubicación de la bocatoma y el desarenador, con lo cual se busca implantar estas estructuras en tramos rectos y estables del rio o fuente hídrica de trabajo, con tal de disminuir la sedimentación, o residuos de obstrucción a la entrada de la rejilla.
- Una vez escogido el lugar de las obras se procede a desviar la fuente hídrica, con el fin de permitir la construcción de las obras de captación.
- Dentro del proceso de construcción se elaboran los cimientos de las obras y posteriormente se construyen las formaletas de los muros en tablas.

Figura 162. Estructura armada en madera del desarenador



Fuente: Autores

- Se construyen la estructura interna de los muros, lo concerniente al concreto reforzado del mismo.
- Se funden las diversas partes de las obras, con sus respectivas mezclas de gravilla, arena y cemento.

Figura 163. Cimientos y estructura armada en madera de muros bocatoma



Fuente: Autores

- Una vez estén duros los muros se procede a retirar las formaletas. Luego se realizó una inspección detallada de los muros y se retiraron las rebabas que quedaban a causa de la presencia de ranuras en la formaleta por inconsistencias en las tablas de madera.

Figura 164. Bocatoma de fondo en concreto reforzado



Fuente: Autores

Figura 165. Desarenador de placas deflectoras en concreto reforzado



Fuente: Autores

6.9 INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

En el proceso de instalación de la tubería se realizaron una serie de procedimientos que contribuyeron a una eficaz instalación.

- El proceso de instalación de tubería parte desde el transporte de la misma, a la zona de ubicación, actividad que se realizó en mulos de la manera más cuidadosa posible, con el objetivo de no generar averías en el producto.

Figura 166. Transporte de rollos de manguera de 3" de HDPE.



Fuente: Autores

- Se realizó una explicación detallada de lineamientos que debía seguir la instalación de la tubería, en cuanto a la profundidad de zanja de instalación, la ruta y el método de unión de los tramos de tubería.

Figura 167. Orientación de lineamientos de la tubería.



Fuente: Autores

- Seguidamente se realizó la respectiva zanja de la tubería. La cual se enterró a través de la construcción de hueco de tipo triangular, con una profundidad próxima los 30 cm.

Figura 168. Construcción de la zanja de instalación de manguera



Fuente: Autores

- Se realizaron las respectivas uniones de los tramos. Con lo cual se calentaron los extremos de las mangueras con el uso de un mechón y luego se introdujo la conexión en aluminio de 3 in, que luego fue sujeta por abrazaderas.

Figura 169. Uniones con abrazaderas



Fuente: Autores

- Para finalizar se realizó pruebas de funcionamiento de la tubería dentro del cual se verificó que no se presentasen fugas en la trayectoria de la manguera y sus uniones.

6.10 CONSTRUCCIÓN DE CASA MÁQUINA

En la construcción de la casa maquina se realizaron una serie de actividades que concluyeron en la obtención de un recinto estable, de buenos cimientos y espacios aptos para las condiciones de instalación, mantenimiento y operación de la turbina.

- Para la construcción de la casa maquina se parte de seleccionar un espacio apto para la construcción del recinto, en cual no sufra las crecientes del río o fuente hídrica.
- Posteriormente se realiza el camino de acceso al punto de generación, para el transporte de materiales de construcción de las obras. El camino se hizo con la menor perturbación al medio ambiente y la disponibilidad de espacio necesaria para la vinculación del personal a la casa maquinas.

Figura 170. Camino de acceso a la casa maquinas



Fuente: Autores

- Se delimitan la distribución de espacios en la zona de trabajo, para la elaboración de los cimientos de las paredes del recinto. En los cuales se implementó un concreto tipo ciclópeo con tal de garantizar unos soportes aptos para el recinto.
- Se elabora la estructura armada para la construcción del muro de soporte del equipo electromecánico.

Figura 171. Cimientos de casa maquina



Fuente: Autores

- Se funde los cimientos de la casa máquina, guardando las tolerancias necesarias para la instalación de la tubería de reintegro.

Figura 172. Fundición del muro de soporte de la turbina



Fuente: Autores

- Se funden los muros de soporte de la turbina, junto con la estructura pertinente, y se procede al levantamiento de las paredes, para posterior construcción del piso.

Figura 173. Levantamiento de paredes de la casa máquina



Fuente: Autores

- Finalmente se realizan las instalaciones eléctricas internas por medio de tubos conuido en PVC y componentes concernientes al techo y puerta de la casa maquinas.

Figura 174. Casa maquinas terminada



Fuente: Autores

6.11 CONSTRUCCIÓN DE POSTES E INSTALACIÓN DE REDES

En la construcción de las redes eléctricas se siguieron una serie de procedimientos descritos así.

- Inicialmente se realizó la explicación pertinente a los delineamientos de las líneas de transmisión, los puntos de apoyo con sus respectivos templetes.
- Se inició la construcción de los postes, los cuales fueron realizado en concreto reforzado, la longitud libre del poste es de 6 metros, con un pedestal de 70 cm, y un cimientos de 50 cm.
- La estructura reforzada del poste se compone de 4 varillas corrugada de $\frac{1}{2}$ in, con una parrilla de 80cm x 80cm, en un hueco de 1m x 1m y 1.2 metros de profundidad.

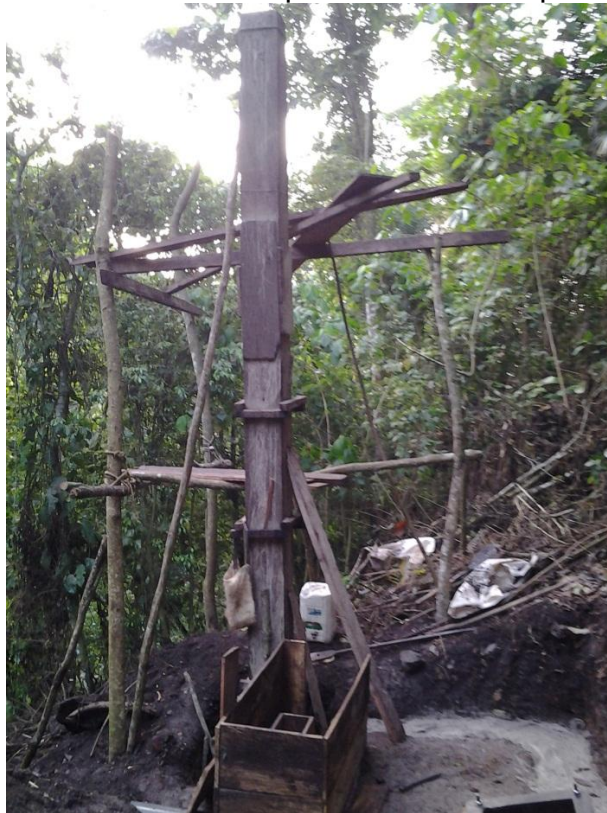
Figura 175. Pedestal de los postes armados en sitio



Fuente: Autores

- La disposición de las varillas en los postes se realiza de manera perimetral en un cuadrado de 20cm x 20cm, con unos estribos en varilla de ¼ in cada 25 cm, para brindarle rigidez y resistencia estructural al poste.
- Para el proceso de fundición del poste inicialmente se realiza un andamio en la ubicación de cada apoyo, con listones de madera de 7 metros de longitud de 4 in x 4 in, los cuales soportan las tablas de desplazamiento de personal en alturas, y el peso del maestro de la obras más la mezcla de ingreso al armazón.
- El armazón de tablas del poste, los conforman 8 tablas puntilladas, de las cuales 6 ingresan a la estructura de refuerzo de forma lateral, y las dos sobrantes son puntilladas una vez de han posicionado toda la estructura en su interior.

Figura 176. Molde armada en madera para fundición de postes



Fuente: Autores

- El concreto preparado para el poste consta de 7 latas de gravilla + 4 latas de arena + 1 bolsa de cemento de 50 kg, lo cual configura un concreto de resistencia a la compresión de 3000 psi.
- El vertimiento del concreto se realiza desde la parte superior del cajón, por porciones 10 litros, y el vibrado del material en el interior se realiza a través de martillos de goma en el cajón, y simultáneos movimientos de la estructura desde la parte superior.
- Los cimientos de los postes junto con el pedestal tienen un tiempo de secado de 2 días, y el poste se mantiene 3 días en el cajón y 6 días de fraguado antes de la puesta en trabajo.
- En la instalación de las líneas inicialmente se realiza el camino de tendido de líneas en el suelo, posteriormente se tienden las líneas fase por fase, desde el primer punto de apoyo hasta el último tratando de ejercer la menor tensión posible en los postes.

Figura 177. Vano de tres líneas Finca Mirasol



Fuente: Autores

Las líneas de transmisión de alambre desnudo de aluminio con alma de acero 6/1 ACSR # 2, se instalaron en vanos de 180, 100, 120, 105 metros, la extensión de la guayas se realizó con una señorita de ratchet con guaya de 2 Ton.

Figura 178. Instalación de redes en postes



Fuente: Autores

- Los aisladores de porcelana dispuestos en los postes en perchas eléctricas de tres posiciones.

6.12 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE RESISTENCIAS

En la construcción del banco de resistencia se tuvo en cuenta lo siguiente.

- El tanque de almacenamiento de agua se ubicó 2 metros sobre nivel superior del techo de la casa.
- El banco de resistencias lo conforma un recipiente de plástico de 200 litros, al cual se le adaptaron tres resistencias de cobre de 3000W, 2000W y 500 W con racor de 1 in, de unión estañada en la superficie interna sumergible.
- La alimentación de agua del tanque está controlada por una válvula de flotador que controla el nivel del agua en el tanque.

Figura 179. Banco de resistencias



Fuente: Autores

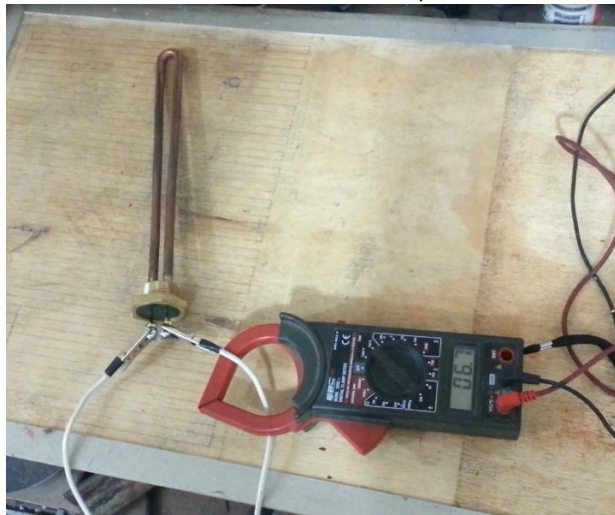
Las resistencias instaladas en este proyecto fueron calibradas en el lugar donde se fabricaron. Resistencias del oriente Ltda. Obteniéndose valores muy cercanos a la potencia nominal para la que se diseñó. Esto nos brinda confiabilidad en los equipos adquiridos

Figura 180. Resistencia de 1500 W. resistencia en ohm



Fuente: autores

Figura 181. Corriente en resistencia de 1500 W, con conexión 220 V.



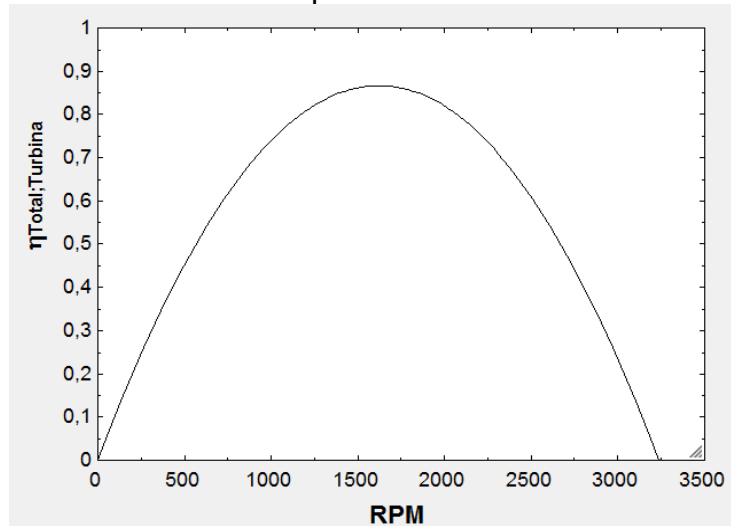
Fuente: Autores

7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

7.1 CURVAS DE DESEMPEÑO DE LA TURBINA.

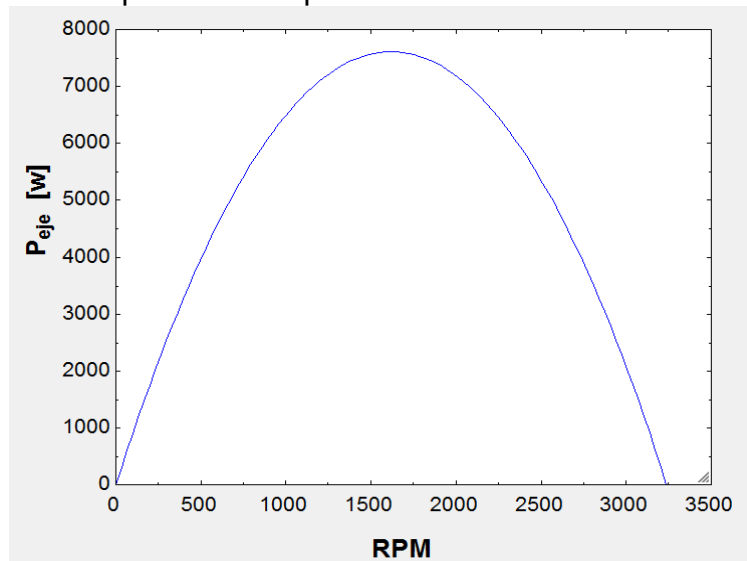
Las curvas características de esta turbina, están dadas para un caudal y altura neta constante, de 10L/s y 89.7 metros respectivamente.

Figura 182. Curva de Eficiencia vs rpm



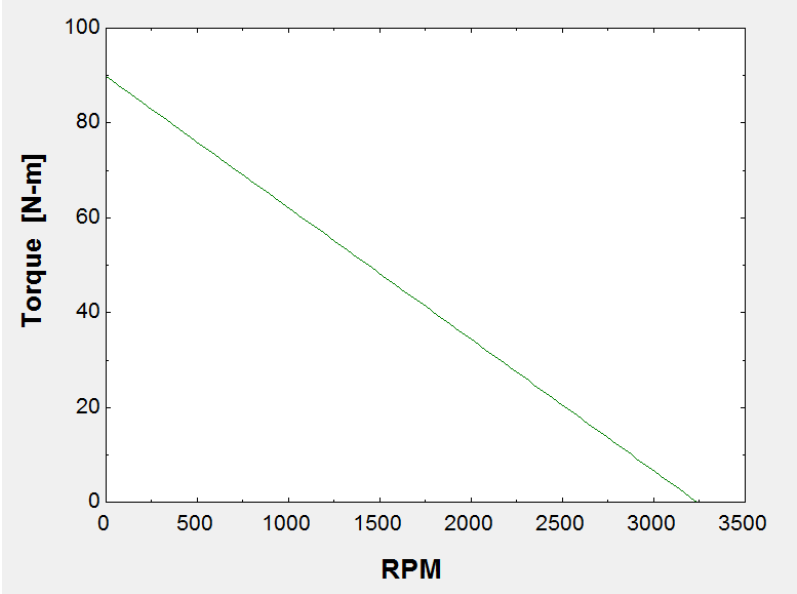
Fuente: Autores

Figura 183. Curva de potencia vs rpm



Fuente: Autores

Figura 184. Curva torque vs rpm



Fuente: Autores

7.2 PRUEBA DE PRESIÓN DE OPERACIÓN.

Dentro de los parámetros a medir en el trabajo realizado, se parte por corroborar los parámetros de entrada a la turbina, con lo cual se verifica la presión de operación a la entrada con un manómetro tipo reloj.

Figura 185. Medidor de presión en la entrada a la válvula.



Fuente: Autores

La presión de operación mostrada por el manómetro es de 120 psi.

7.3 PRUEBAS DE POTENCIA PRODUCIDA

Dentro de las pruebas de funcionamiento realizadas en la picocentral hidroeléctrica de la finca Mirasol, está la verificación de la potencia producida. Para lo cual se realizaron las respectivas conexiones de los medidores de corriente y voltaje dispuestos en la casa máquina.

En la pico-central instalada se empleó un generador síncrono marca HUDY, de 6.7 KW, que cuenta con tres salidas 2 fases (roja y negra) y un neutro (amarillo). El alambre utilizado en las conexiones interna es calibre # 10.

Figura 186. Pico-central hidroeléctrico de 5 KW



Fuente: Autores

En la cajilla de medidores para control, están instalados dos amperímetros de 30 A, y un voltímetro de 300 V que mide tensión entre las dos líneas vivas.

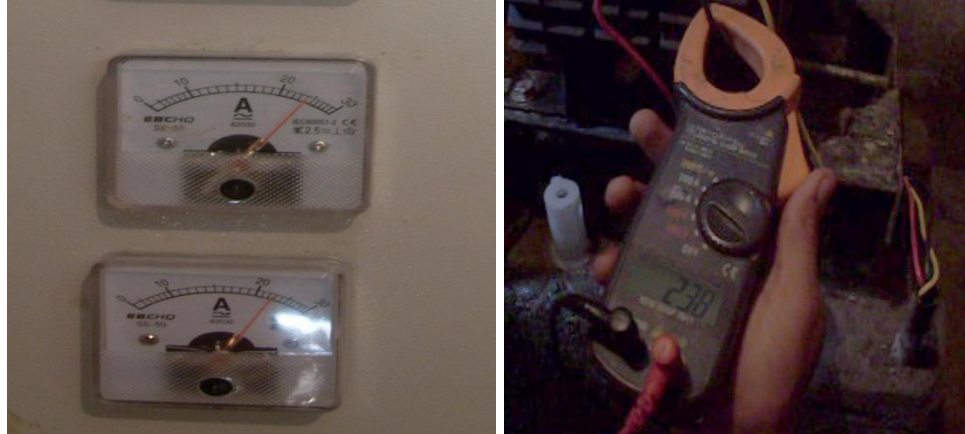
Figura 187. Caja de control + medidores de voltaje y corriente



Fuente: Autores

Los valores medidos por los amperímetros se corroboraron con la utilización de una pinza de medición de corriente.

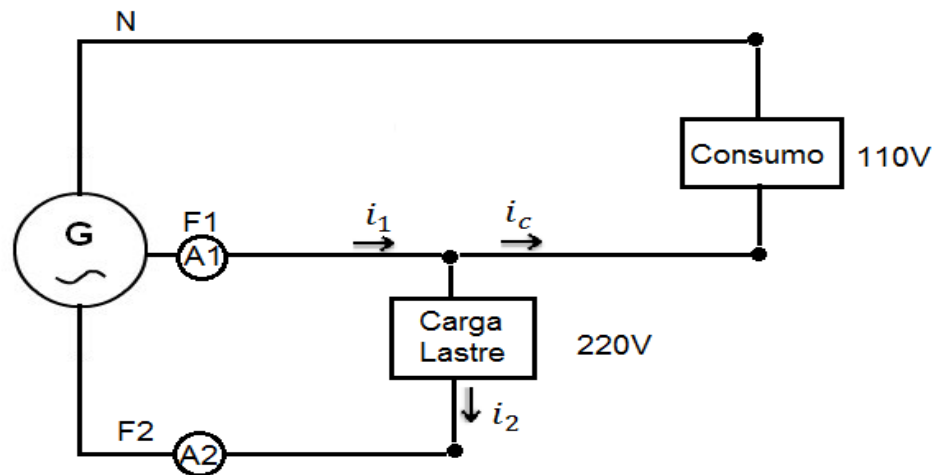
Figura 188. Verificación de corrientes en la fase



Fuente: Autores

Como se puede observar en la línea negra correspondiente al amperímetro superior se evaluó una corriente equivalente a 23.8 A, como lo muestra la pinza amperimétrica y el amperímetro análogo. Con lo cual se procedió al cálculo de la potencia por fase y neutro.

Figura 189. Circuito prueba de generación



Fuente: Autores

Tabla 28. Prueba de Generación

Parámetros medidos	Corriente Línea 1 (i_1)	Corriente Línea 2 (i_2)	Potencia Carga Lastre	Potencia Consumo	Potencia Generada
valores	23.8 A	22.3 A	165 W	4906 W	5071 W

Fuente: Autores

7.4 VERIFICACIÓN DE EFICIENCIAS DE LA PLANTA

Con el fin de cuantificar la desviación que se tuvo en cuanto a la eficiencia de la picocentral se procede a comparar las eficiencias calculadas con las eficiencias reales encontradas.

En los cálculos de diseño se obtuvo los siguientes datos.

$$\eta_{Generador} = 0.83 \quad \eta_{Red\ de\ transmision} = 0.947 \quad \eta_{Transmision\ mecanica} = 0.96$$

$$\eta_h = 0.92 \quad \eta_m = 0.87$$

Después de instalada la planta se comprobó que las eficiencias reales son:

La potencia eléctrica generada es: $Pot_{Real} = 5071$ [W]

Presión de operación: $P_{Operacion_{Real}} = 120$ [psi] = 84.54 [mca]

Potencia Hidráulica.

$$P_{Hidraulica_{Real}} = P_{Operacion_{Real}} * \rho_{agua} * g * Q_{Real}$$

$$P_{Hidraulica_{Real}} = 84.54 * 997 * 9.81 * 0.01 = 8268$$
 [W]

Por tanto las eficiencias serán.

$$\eta_{Equipo\ electromecanico} = \frac{Pot_{Real}}{P_{Hidraulica_{Real}}} = \frac{5071}{8268} = 0.61$$

$$\eta_{Turbina_{Real}} = \frac{\eta_{Equipo\ electromeccanico}}{\eta_{Generador} * \eta_{Transmision_{mecanica}} * \eta_{Red\ de\ transmision}}$$

$$\eta_{Red\ de\ transmision_{Real}} = \frac{Pot_{Real}}{Pot_{Real} + Perdidas}$$

$$Perdidas = \frac{(V_{gen} - V_{vivienda})^2}{Resistencia_{conductor}} = \frac{(230 - 220)^2}{1.04 * 0.5} = 192.3[W]$$

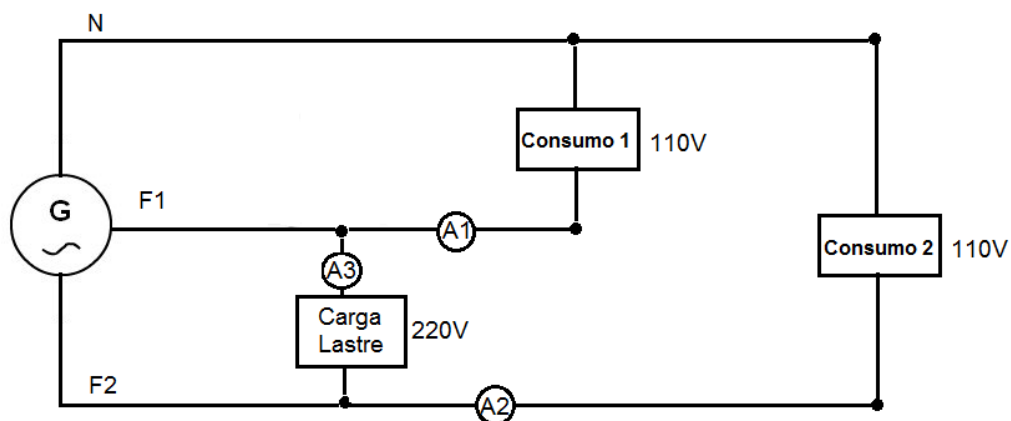
$$\eta_{Red\ de\ transmision_{Real}} = \frac{5071}{5071 + 192.3} = 0.96$$

$$\eta_{Turbina_{Real}} = \frac{0.61}{0.83 * 0.97 * 0.96} = 0.78$$

7.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CONTROLADOR POR CARGA

Para la puesta en funcionamiento del controlador por carga se efectuaron pequeñas variaciones de carga en la vivienda, con lo cual se verificaron en los medidores el cambio de corriente que pasaba en las líneas y las mínimas variaciones del voltímetro.

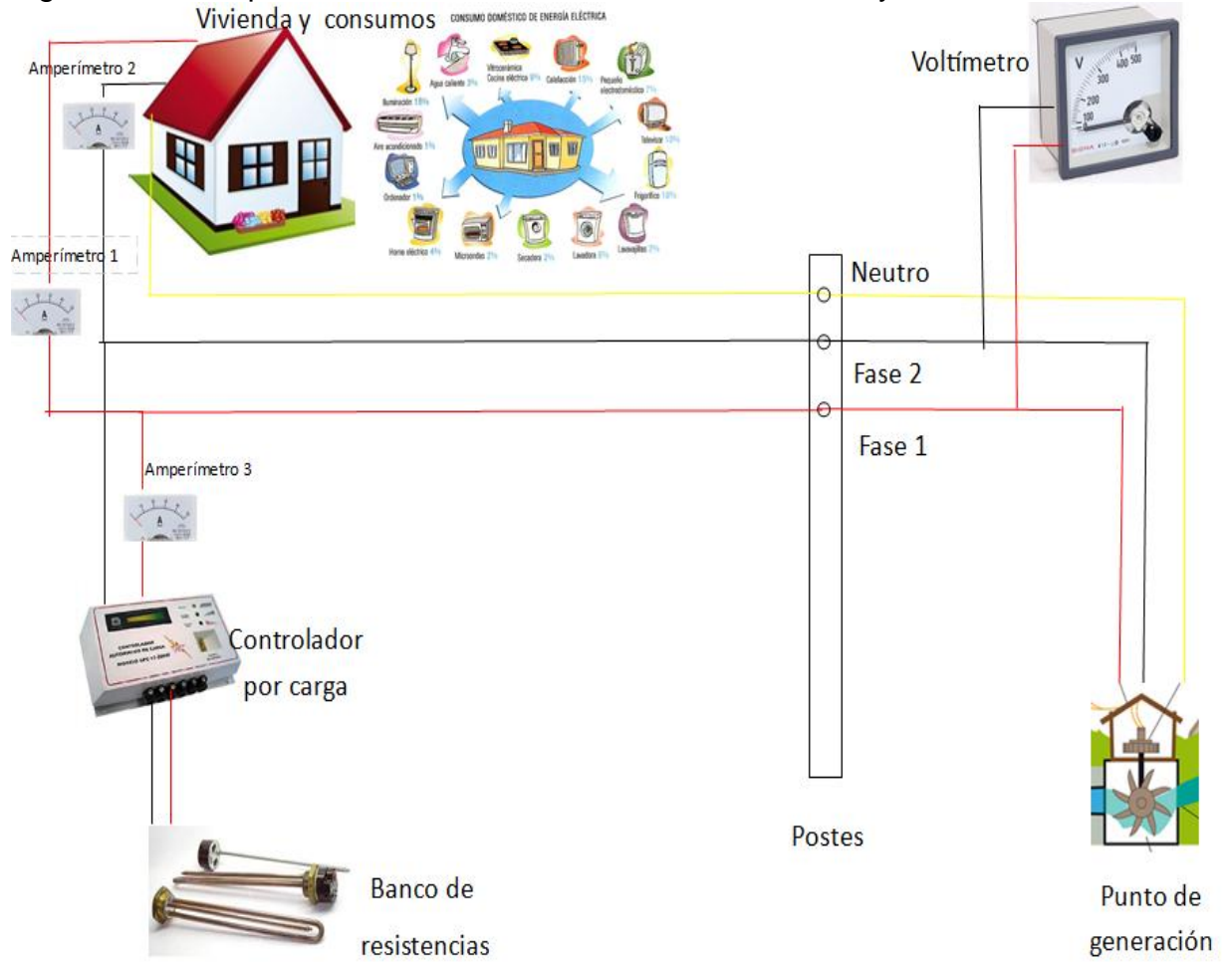
Figura 190. Circuito de pruebas del control por carga



Fuente: Autores

Para la presente prueba se presenta un esquema de conexiones de la prueba.

Figura 191. Esquema básico de conexiones del controlador y vivienda



Fuente: Autores

Como se puede observar las dos fases vivas llegan al controlador por lo cual la conexión de las resistencias estaría a 220 Voltios, lo mismo que el controlador por carga, y al igual la fase 1 y 2 se conecta la vivienda en circuitos independientes con el neutro, que tendría una tensión de 110 voltios entre las fases y neutro.

Tabla 29. Valores medidos bajo condición de cargas

Condición de carga	Amp 1 (A)	Amp 2 (A)	Amp 3 (A)	Voltaje (fase-fase) (voltios)	Pot vivienda circuito 1 (vatios)	Pot vivienda circuito 2 (vatios)	Potencia resistencias (vatios)
Condición 1	0	2	22	220	0	220	4840
Condición 2	0	0	22.8	221	0	0	5038.8
Condición 3	4.6	14.3	13.6	218	501.4	1558.7	2964.8
Condición 4	5.9	21.2	9.7	217	640.1	2300.2	2104.9

Fuente: Autores

Tabla 30. Condiciones de cargas en los circuitos

Condición 1	Circuito 1	0 consumos
	Circuito 2	9 bombillos encendidos
Condición 2	Circuito 1	0 consumos
	Circuito 2	0 consumos
Condición 3	Circuito 1	Lavadora
	Circuito 2	9 bombillos + licuadora + horno
Condición 4	Circuito 1	Lavadora +TV
	Circuito 2	9 bombillos + licuadora + nevera + horno

Fuente: Autores

7.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTOS OBRAS DE CAPTACIÓN

En las pruebas de funcionamiento a las obras de captación se requirió verificar ciertas funcionalidades tales como:

- Captación del caudal en su totalidad en la condición de bajo caudal. Considerando que en la condición de abastecimiento mínimo de la fuente, el agua ingresara en su totalidad por la rejilla y en caso de no utilizarse todo el caudal, este sería reintegrado a río a través de los vertederos de excesos ya sean de la bocatoma o del desarenador.

Figura 192. Captación de agua en verano



Fuente: Autores

Figura 193. Cámara de excesos



Fuente: Autores

- El resalto o colchón amortiguador soporta las velocidades de vertimiento en la presa, y además conforma el colchón de agua necesario para amortiguar la carga energética que trae el agua en la zona baja del azud.

Figura 194. Resalto o colchón amortiguador



Fuente: Autores

- Los muros de contención construidos en las zonas laterales de la bocatoma soportan crecientes del río en condiciones de lluvia o invierno.

Figura 195. Creciente Soportada por las obras de captación



Fuente: Autores

- En el desarenador se presenta tres zonas totalmente diferenciadas por la turbulencia de las partículas de agua en cada zona. Dentro de las cuales se diferencian notablemente las zonas de aquietamiento, la de sedimentación y la cámara de salida.

Figura 196. Cámaras del desarenador



Fuente: Autores

8. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN

La puesta en marcha de una picocentral hidroeléctrica representa la inversión de un capital considerable por parte de sus propietarios, que esperan un correcto funcionamiento de sus equipos durante un tiempo considerable. Esto se logrará solo con una operación adecuada del sistema y con un programa de mantenimiento bien planificado que efectivamente sea llevado a la práctica, a modo de mantener todos y cada uno de los elementos que comprenden el sistema bajo condiciones de operación óptimas, reduciendo al mínimo la ocurrencia de fallas en los mismos.

8.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Un manual de operación es la manera más precisa de explicarle al usuario la manera cómo deben desarrollarse diferentes tipos de actividades en la picocentral hidroeléctrica. A fin de garantizar el correcto funcionamiento y la manipulación adecuada de la planta se hace necesario realizar el presente manual. Los procedimientos y actividades de mantenimiento deben especificarse a manera de secuencia de acciones que se repiten periódicamente por una persona encargada, la cual debe estar capacitada para ejecutar, registrar y programar estas acciones, además de contar con los manuales y documentos del fabricante pertinentes.

8.1.1 Paso a paso en el arranque y parada de la planta

Una picocentral hidroeléctrica está conformada por diferentes subsistemas que forman parte fundamental en el proceso de generación de energía, cada uno de estos entran en operación inmediatamente se quiera poner en funcionamiento la picocentral. A continuación se enumeran los pasos que se deben seguir en el arranque y parada de la planta.

8.1.1.1 Arranque de la planta

Paso 1. Verificar el correcto funcionamiento de las obras de captación. Se debe realizar una inspección visual en la bocatoma a fin de confirmar que no haya taponamiento de la rejilla de captación y que la tubería se encuentre llena de agua.



Paso 2. El conjunto turbina generador deben estar libre de todo tipo de objeto o material que no haga parte de él.



Paso 3. Revisar y asegurarse de que todas las partes del equipo estén bien fijadas.

Paso 4. Girar manualmente la turbina y generador para verificar que no existe impedimento alguno y que todo el equipo pueda girar libremente.

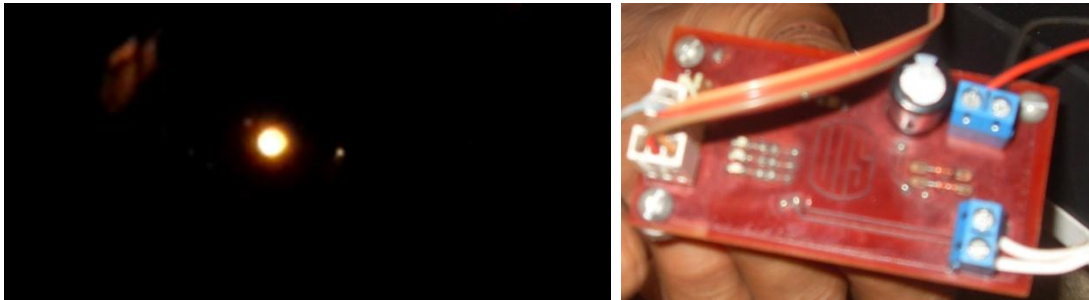
Paso 5. Revisar que todas las conexiones eléctricas en del tablero de control se encuentren en perfectas condiciones. Conexión de los instrumentos de medición y garantice que el interruptor principal este en la posición ON o encendido.



Paso 6. Asegurarse que el interruptor de conexión de carga real (Conexión de la finca Mirasol) se encuentre en la posición OFF o apagado. Ese interruptor está ubicado en la caja de circuitos de la Finca mirasol.



Paso 7. Visualizar la tarjeta de control del encendido y apagado de la máquina y verificar que la led de color naranja se encuentre encendida, señal de que esta energizado y dispuesto a recibir la orden de encendido.



Paso 8. Luego de las anteriores acciones de verificación se procede al encendido de la planta accionando el pulsador de accionamiento local ubicado en el tablero de control. Espere que la orden de encendido se ejecute y verifique que el voltímetro este marcando 220 voltios.



Paso 9. Una vez que la planta se encuentre funcionando de manera estable, se procede a energizar la finca Mirasol accionando el interruptor de carga real ubicado en la caja de circuito de la finca llevándolo a la posición ON.

8.1.1.2 Parada de la planta

Paso 10. Para apagar la picocentral hidroeléctrica es necesario desconectar la carga real de la finca, por tanto accione el interruptor de carga real a la posición OFF.

Paso 11. Presione el pulsador de accionamiento remoto ubicado en la Finca mirasol y espere que la orden de apagado se ejecute. Esta orden también se

puede ejecutar interviniendo el pulsador de accionamiento local en el caso de que el operador se encuentre en la casa máquina.

Después de la puesta en marcha de la picocentral la operación de esta se reduce a llevar un registro de su comportamiento y a realizar las operaciones de mantenimiento.

8.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Con el fin de conocer el comportamiento y las acciones de mantenimiento realizadas o por realizar, se hace necesario contar con un documento de registro en el que se plasmen todos los comportamientos subestándares percibidos por el operador tanto en las rutinas de inspección visual como en las labores de mantenimiento propiamente definidas.

8.2.1 Registro de mantenimientos.

En este libro se deben consignar todas las ocurrencias o eventos que se puedan producir. Esto permitirá consignar los datos estadísticos del comportamiento del equipo desde la puesta en marcha. Se almacenarán los parámetros de funcionamiento tales como: Voltaje, corriente en cada fase y presión de operación, y observaciones en las inspecciones visuales realizadas. Cada mantenimiento que se ejecute arrojará un documento donde se conocerá la fecha y las actividades desarrolladas.... Ver Anexo A...

Diagnósticos de fallas

Realizar el diagnóstico de una falla es una labor que requiere gran experiencia y habilidades de observación por parte del operador de la planta. Al presentarse una falla el operario deberá contar con una herramienta que le facilite encontrar las posibles causas y realizar un análisis deductivo que le permita llegar al origen del problema y tomar las acciones correctivas necesarias para garantizar nuevamente la operación.

A continuación se realizará un diagnóstico de las fallas más relevantes en una picocentral hidroeléctrica, se nombraran las posibles causas de la falla y las posibles alternativas de solución.

Tabla 31. Diagnóstico de fallas en obras civiles

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN A TOMAR
No ingresa agua a la obra de captación.	✓ El ingreso a la conducción esta obstruido	✓ Verificar y realizar limpieza a la toma
Ingresa el agua en las obras de captación pero no llega la cantidad necesaria a la casa máquina.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Existen fugas de agua en la tubería y/o en las obras de captación ✓ Existen objetos que impiden el ingreso del agua a la tubería de presión. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recorrer la tubería e identificar las posibles fugas y repararlas. ✓ Revisar la cámara de carga y retirar los objetos que impiden el ingreso del agua.
Llega el agua muy turbia a la turbina	✓ El desarenador está totalmente lleno	✓ Revisar el desarenador y ejecutar la limpieza retirando el tapón de purga.

Tabla 32. Diagnóstico de fallas en la Turbina

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN A TOMAR
La turbina no gira.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Insuficiente agua aun después de abierta la válvula, probablemente el inyector está tapado ✓ Bloqueo de las partes móviles de la turbina 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Al comprobar la obstrucción, remover la tobera y retirar con la mano los objetos que obstruyen ✓ Intentar girar el eje de la turbina manualmente y retirar algún objeto que este atrancando el movimiento.
La turbina arranca pero no incrementa su velocidad.	✓ Insuficiente agua en la cámara de carga y cae la altura de presión.	✓ Revisar las obras de captación.
La Turbina se embala y el controlador da la orden de apagado de emergencia.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El interruptor principal está dañado ✓ El control de carga no funciona 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambiar el Breacker ✓ Solicitar al técnico especialista la reparación del equipo
Presencia de ruidos en el interior de la turbina	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El rodete o los sellos están flojos y chocan entre si ✓ Pequeñas piedras traídas por el agua golpean la turbina 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Retirar la tapa de la carcasa y apretar tornillos. ✓ No hay mayor problema si los ruidos desaparecen pronto

Tabla 33. Diagnóstico de fallas en el Generador.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN A TOMAR
La máquina no genera	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conexión defectuosa ✓ El capacitor está dañado ✓ Se detuvo el generador por un largo periodo de tiempo y perdió el magnetismo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revise las salidas del alternador con un multímetro y repare la mala conexión. ✓ Revise las especificaciones del capacitor y cámbielo por uno de capacitancia y voltaje iguales ✓ Cargue el capacitor con una fuente DC entre 3 y 4 voltios
Ruido en los rodamientos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rodamientos defectuosos ✓ Algún elemento suelto dentro de los rodamientos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambiar los rodamientos. ✓ Inspeccionar al interior
Fuerte vibración en el generador	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pernos de sujeción flojos ✓ Desbalanceo del rotor 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisar y ajustar los pernos ✓ Consulte con el técnico especialista.
Presencia de humo en el generador	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cortocircuito en el interior del equipo a causa de la humedad ✓ Rozamiento entre rotor y estator produce pérdida del bobinado del rotor. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apague la máquina y mueva con un soplete la humedad presente ✓ Pare la máquina y cambie el rotor

Tabla 34. Diagnóstico de fallas en el Tablero de control.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN A TOMAR
Calentamiento del Breacker	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Defectos del interruptor ✓ Sobrecarga ✓ Bornes flojos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reemplazar el interruptor ✓ Reducir la carga ✓ Ajustar los bornes
Los medidores no funcionan	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mal conectados ✓ Daño del medidor 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revise las conexiones ✓ Reemplace el medidor dañado
El encendido electrónico no funciona	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Batería de 12 V DC esta descargada ✓ El pulsador no funciona ✓ El circuito integrado no funciona 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cargue la batería ✓ Reemplace el pulsador ✓ Solicitar al técnico especialista la reparación del equipo

8.3 MANTENIMIENTO DE LA PICOCENTRAL HIDROELÉCTRICA⁵⁴

Las consecuencias de una inadecuada operación y la desatención del mantenimiento acontecen en un sinnúmero de problemas que se relacionan directamente con el conjunto electromecánico además de las pérdidas económicas que representan la energía que se deja de producir y los costos de la reparación por las paradas no programadas.

De un buen mantenimiento depende no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones y las máquinas, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como el hacer que los equipos tengan periodos de vida útil duraderos, sin excederse en lo presupuestado para el mantenimiento, por tanto es necesario especificar de manera secuencial los procedimientos y actividades de mantenimiento a realizar en la picocentral hidroeléctrica de la finca mirasol, y realizar una capacitación a las personas que operaran la planta, creando conciencia en que el éxito de un programa de mantenimiento radica en el cumplimiento de las actividades programadas y en la programación de las mismas. Seguidamente se enumeran las acciones y recomendaciones prácticas de mantenimiento más significativas a ejecutarse en función de cada elemento de la picocentral.

8.3.1 Mantenimiento de las obras de captación

Generalmente en las épocas de invierno la fuente hídrica trae consigo palos, piedras, arena y vegetación, depositándose en la bocatoma y consecuentemente taponan la entrada de agua. Por lo que es necesario limpiar periódicamente a fin de garantizar la captación necesaria.

Los periodos de limpieza para la bocatoma dependen de la cantidad de sedimentos depositada, por lo que es necesario inspeccionar habitualmente en

⁵⁴ INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

tiempos de invierno y de sequía y determinar un intervalo adecuado para los mantenimientos ya que cada fuente tiene comportamientos diferentes en diferentes tiempos.

Una de las partes más importantes de una picocentral hidroeléctrica es el desarenador, pues el funcionamiento de este determina el deterioro por erosión del rodete al no existir un mantenimiento adecuado para este. El agua entra al desarenador y choca a baja velocidad con las placas deflectoras permitiendo que las partículas en suspensión caigan a la base del desarenador. Estos sedimentos acumulados deben ser expulsados semanalmente o realizando un seguimiento se determina un intervalo prudente en función de la presencia de lluvias, incrementando los intervalos de limpieza en las épocas de invierno.

Las labores de mantenimiento a mamposterías y reparaciones menor impacto se programará para las épocas secas del año a fin de garantizar la continuidad de los trabajos.

8.3.2 Mantenimiento de la tubería de presión

En este proyecto se utilizó una tubería de polietileno, por lo que las acciones de mantenimiento se reducen a las siguientes acciones:

La tubería de polietileno y en general las de material plástico deben protegerse de los rayos ultravioletas para impedir el envejecimiento prematuro en áreas que sufran exposición directa al sol. Por tal razón se instalará en zanjas y estará totalmente cubierta con tierra, lo que la protegerá del pisoteo de animales y de ser rota por roedores.

Es importante inspeccionar el estado de los drenajes de conducción de aguas lluvias a fin de impedir que el terreno sea socavado y se destape la tubería. Se recomienda realizar un recorrido y constatar que no existen fugas y en el caso de existirla realizar la intervención inmediata.

8.3.3 Mantenimiento de la turbina.

El mantenimiento de la turbina pelton está directamente relacionado con las labores de limpieza de las obras de captación. La turbina necesitará poco mantenimiento en la medida en que el agua se mantenga limpia, de ocurrir que algún objeto ingrese en el interior de la turbina produciendo obstrucción parcial o completa al agua en la tobera, será necesario desmontar la tapa de la carcasa y extraer la tobera para expulsar los objetos.

Será necesario realizar una inspección general rigurosa periódicamente en la que se aprieten todos los pernos y verificar la presencia de desgastes en las partes móviles.

Se debe controlar el grado de corrosión que ocurra en la carcasa de la turbina y de ser necesario programar en un mantenimiento pintarla con pintura anticorrosiva

8.3.4 Mantenimiento del sistema de transmisión de potencia mecánica.

El sistema de transmisión mecánica de picocentral hidroeléctrica de la finca Mirasol comprende el eje de la turbina, las poleas, las correas y los rodamientos. Este sistema debe ser inspeccionado con frecuencia, con el fin de detectar vibraciones a causa de desalineamientos, tensiones excesivas de las bandas o la falta de lubricación.

El tensado de las bandas se deben verificar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, donde se recomienda una máxima flecha de deformación al ser aplicada una determinada fuerza de prueba que a su vez depende del tipo de banda.

Otro punto de especial cuidado son los rodamientos, por tanto se debe estar alerta a la aparición de ruidos extraños y sobrecalentamientos, pues son estos indicadores de que algo está funcionando inadecuadamente. En el catálogo del fabricante se recomienda para el tipo de rodamiento seleccionado aplicar grasa

cada 350 horas (15 días) de servicio y Cambio del rodamiento cada 66334 horas (7.5 años)de servicio.

8.3.5 Mantenimiento del Generador y líneas de transmisión.

En el generador será necesario realizar mantenimiento a los componentes eléctricos y mecánicos con el fin de evitar la acumulación de polvo, humedad o grasa en su interior. Este mantenimiento consta de la limpieza de las bobinas del generador, inspección de los bornes, ventilación y verificación de las conexiones eléctricas en el generador, se debe realizar por una persona capacitada y se ejecutara cada año a fin de prevenir daños al equipo.

En el tablero de control, se revisará el estado de las conexiones y se ajustaran los elementos flojos. Los instrumentos de medición tales como Voltímetro, amperímetro e interruptor termo magnético, que requieren poca atención solo bastará con retirar el polvo de acuerdo a las condiciones del ambiente existentes en el lugar, y en caso de existir uno de estos equipos dañado deberán ser cambiados a la brevedad posible.

En las redes de transmisión de potencia se deberá realizar inspección mensual en su recorrido y verificar el estado de las conexiones, los postes y templetes.

8.3.6 Herramientas para mantenimiento y Stock de Repuestos

Las labores de mantenimiento no podrían ejecutarse sin la existencia de un stock mínimo de repuestos y herramientas en la picocentral, esto permitirá reducir los tiempos de parada de la planta y realizar las labores de mantenimiento de una manera más segura. A continuación se listan los repuestos y herramientas mínimos indispensables en una picocentral hidroeléctrica.

Tabla 35. Herramientas y Stock de Repuestos

HERRAMIENTAS	REPUESTOS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Juego de destornilladores ✓ Alicata normal ✓ Alicata Corta frio ✓ Martillo de goma ✓ Martillo metálico ✓ Juego de llaves Hexagonales ✓ Juego de llaves Bristol ✓ Un extractor de Rodamientos ✓ Llave de tubo ✓ Grasea ✓ Segueta ✓ Rastrillo para limpieza ✓ Un Machete ✓ Un Multímetro ✓ Una Linterna de mano ✓ Un impermeable para la lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unión para tubería ✓ Abrazadera industrial para unión de tubería ✓ Rodamientos para Turbina ✓ Rodamientos para generador ✓ Grasa común ✓ Fusibles para generador ✓ Fusibles para Control de carga ✓ Detergentes para Limpieza ✓ Breacker ✓ Trapos Limpios

Fuente: Autores

Figura 197. Herramientas



Fuente: Autores

8.4 CAPACITACIÓN DE OPERADORES

Se realizó la capacitación al personal de la finca mirasol sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento de la picocentral hidroeléctrica, se realizó un recorrido desde las obras de captación hasta el lugar de consumo explicándoles minuciosamente todas las partes, su funcionamiento y labores de mantenimiento. El personal seleccionado para este cargo debe mostrar interés en aprender, debe ser disciplinado y responsable, además requiere tener los siguientes requisitos.

- Saber leer y escribir
- Habilidades en el manejo de herramienta
- Capacidad de retención para memorizar datos y secuencias
- Iniciativa y fluidez para solucionar problemas
- Ser analítico y tenga la capacidad de deducción para distinguir causa efecto.

Es muy importante dejar claridad sobre las funciones que el operador debe realizar dentro de la picocentral y resaltar la importancia que representa su labor para el correcto funcionamiento de la planta. Dentro de las actividades que el operador debe realizar están:

- Poner en marcha la planta bajo condiciones normales
- Detener la planta bajo condiciones normales
- Realizar inspecciones periódicas a toda la planta y llenar formato de inspección, para detectar la falla o posible ocurrencia de falla y proceder a eliminarla a temprana edad.
- Supervisar el funcionamiento del grupo turbina generador.
- Llenar formato de mantenimiento y garantizar que todas las actividades queden registradas en el libro de registros de mantenimiento de manera ordenada por fecha de ejecución.
- Conocer y entender el diagnostico de fallas y ser capaz de identificar la causa del problema.

- Llevar a cabo las labores de mantenimiento periódicas y programar en el tiempo su repetición.
- Realizar instalaciones y reparaciones eléctricas menores, en tomacorrientes, fusibles, focos e interruptores.

Figura 198. Capacitación de Operadores



Fuente: Autores

9. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Económicamente un proyecto es una fuente de costos y beneficios que ocurren en diferentes periodos de tiempo. El reto de alguien que toma decisiones en torno a la pertinencia de ejecutar o no determinado proyecto es identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo, y medirlos (valorarlos) con el objetivo de señalar si es conveniente o no su ejecución. A este enfoque se le denomina evaluación económica de proyectos, para el presente proyecto determinaremos el flujo real de dinero, enfatizado en el sentido empresarial de la misma, de esta forma, es posible prever si se recuperara o no las inversiones realizadas y se pueden pagar los costos de operación y mantenimiento, con el fin de garantizar la continuidad de funcionamiento de la pico central hidráulica.

9.1 INVERSIONES

Las inversiones de este proyecto representan el capital utilizado para obtener el servicio de energía eléctrica para la finca mirasol a partir de la construcción de la picocentral hidroeléctrica.

9.1.1 INVERSIÓN FIJA

Se considera como inversión fija al costo de implantación del proyecto, dentro de este se incluyen los costos de: Adquisición de materiales, equipos, transporte y mano de obra. A continuación se determina cada uno de ellos.

9.1.1.2 Costos de adquisición de materiales.

Materiales para obra civil

Los materiales adquiridos en la obra civil representan el cemento, arena, varillas, tubería, maderas, etc, Utilizados para construir las obras de captación, casamaquina, los postes y para la red de transmisión de potencia.

Tabla 36. Costos de materiales en Obras de Captación

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Arena	m ³	2.7	\$ 47.000,00	\$ 126.900,00
Piedra	m ³	3	\$ 80.000,00	\$ 240.000,00
Cemento x 50 Kg	Bulto	15	\$ 25.000,00	\$ 375.000,00
Varilla # 4 (1/2")		2	\$ 13.500,00	\$ 27.000,00
Varilla # 2 (1/4")		40	\$ 3.800,00	\$ 152.000,00
Madera (Tablas. 1"x12"x 3m)		30	\$ 7.000,00	\$ 210.000,00
Madera (Listón 4"x2" x 3m)		10	\$ 5.000,00	\$ 50.000,00
Clavos 2 ½"	Kg	5	\$ 3.300,00	\$ 16.500,00
Alambre negro calibre 17	Kg	7	\$ 3.000,00	\$ 21.000,00
Tubería PVC de Ø 6 in RDE 41x6m		1	\$ 148.011,00	\$ 148.011,00
TOTAL				\$ 1.366.411,00

Fuente: Autores

Tabla 37. Costos de materiales tubería de presión

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Tubería PE4710 DR=13.6	Rollo x 50 metros	8	\$ 601.808,00	\$ 4.814.464,00
Unión Aluminio 3"		7	\$ 11.000,00	\$ 77.000,00
Acople rápido 3" Pza A y C		1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
Abrazadera industrial		15	\$ 4.500,00	\$ 67.500,00
Válvula de Compuerta 3" Red White # 150		1	\$ 190.000,00	\$ 190.000,00
Manómetro		1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
Niple roscado 3"		1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Teflón Industrial		2	\$ 1.800,00	\$ 3.600,00
TOTAL				\$ 5.081.564,00

Fuente: Autores

Tabla 38. Costos de materiales en Casa Maquina.

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Arena	m ³	1	\$ 47.000,00	\$ 47.000,00
Bloque de cemento 20x20x40		200	\$ 1.200,00	\$ 240.000,00
Cemento x 50 Kg	Bulto	5	\$ 25.000,00	\$ 125.000,00
Varilla # 4 (1/2")		3	\$ 13.500,00	\$ 40.500,00
Madera (Tablas. 1"x12"x 3m)		6	\$ 7.000,00	\$ 42.000,00
Clavos 2 ½"	Kg	1	\$ 3.300,00	\$ 3.300,00
Alambre negro calibre 17	Kg	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
Tubería PVC de Ø 6 in RDE 41x6m		1	\$ 148.011,00	\$ 148.011,00
Hoja de Zn (3 metros)		3	\$ 21.000,00	\$ 63.000,00
Amarre para techo		100		\$ 6.000,00
Tubo conduit PVC 3/4"		15	\$ 6.500,00	\$ 97.500,00
Puerta metálica			\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
TOTAL				\$ 9.353.311,00

Fuente: Autores

Tabla 39. Costos de materiales Postes.

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Arena	m ³	2.5	\$ 47.000,00	\$ 117.500,00
Gravilla	m ³	2	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
Cemento x 50 Kg	Bulto	20	\$ 25.000,00	\$ 500.000,00
Varilla # 5 (5/8")		30	\$ 21.000,00	\$ 630.000,00
Varilla # 2 (1/4")		12	\$ 3.800,00	\$ 45.600,00
Madera (Molde)			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Madera (Andamios)			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
TOTAL				\$ 1.573.100,00

Fuente: Autores

9.1.1.3 Materiales para Red de transmisión

Tabla 40. Costos de materiales red de transmisión

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Cable de aluminio desnudo ACSR No 2	metro	1500	\$ 956,00	\$ 1.434.000,00
Aislador Carrete 3 ANSI 53-2 TE		21	\$ 1.600,00	\$ 33.600,00
Percha tipo Pesado de 3 puestos		7	\$ 19.450,00	\$ 136.150,00
Conector de aluminio de 1 perno		30	\$ 2.500,00	\$ 75.000,00
Perno máquina de 5/8 x 12		12	\$ 3.200,00	\$ 38.400,00
Varilla Cooper Weld 5/8" x 2.40 metros		5	\$ 88.000,00	\$ 440.000,00
Varilla de anclaje de 5/8 x 1.5 mts para Templete		5	\$ 14.650,00	\$ 73.250,00
Alambre de cobre desnudo No. 10 (puesta a tierra)	metros	50	\$ 2.850,00	\$ 142.500,00
Cable de acero galvanizado grado EHS 1/4" (para templetes)	metros	20	\$ 1.850,00	\$ 37.000,00
ALAMBRES THHN/THWN-2 90°C 600V #10	metro	90	\$ 2.900,00	\$ 261.000,00
Cable Duplex 2 x 12	metro	30	\$ 3.760,00	\$ 125.500,00
Cable Duplex 2x22 (Pipa x100 mts)		5	\$ 18.000,00	\$ 90.000,00
Caja de control 30x30cm		1	\$ 28.000,00	\$ 28.000,00
Amperimetro de 0-30A AC		2	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
Voltimeo de 0-300VAC		1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Interruptor termo magnético de 2 polos 30A		1	\$ 27.900,00	\$ 27.900,00
TOTAL				\$ 2.972.300,00

Fuente: Autores

RESUMEN DE COSTOS DE ADQUISICIÓN DE MATERIALES

Tabla 41. Resumen de costos de materiales

DESCRIPCIÓN	Subtotal (Pesos Colombianos)
Costos de materiales en Obras de Captación	\$ 1.366.411,00
Costos de materiales tubería de presión	\$ 5.081.564,00
Costos de materiales en Casa Maquina	\$ 935.311,00
Costos de materiales Postes	\$ 1.573.100,00
Costos de materiales red de transmisión	\$ 2.972.300,00
TOTAL COSTOS DE MATERIALES	\$ 11.928.686,00

Fuente: Autores

9.1.1.4 Costos de equipos

El costo de los equipos está representado por el conjunto turbina-generador, el control por carga y el sistema de apagado y encendido electrónico

Tabla 42. Costos del conjunto Turbina-Generador.

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Fabricación de modelos de la Turbina en Madera			\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
Fundición de piezas de Turbina			\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
Mecanizado de piezas			\$ 750.000,00	\$ 750.000,00
Construcción del Bastidor			\$ 180.000,00	\$ 180.000,00
Polea trapezoidal tipo A de dos canales en hierro Ø 10"		1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Polea trapezoidal tipo A de dos canales en hierro Ø 4"		1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
Rodamientos		2	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
Correa trapezoidal A-61		2	\$ 14.000,00	\$ 28.000,00
Generador		1	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
Tornillería acero inoxidable			\$ 67.400,00	\$ 67.400,00
Pintura Esmalte roja		¼ gal	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
Pintura Esmalte negra		¼ gal	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
Base Esmalte gris		½ gal	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
TOTAL				\$ 5.857.400,00

Fuente: Autores

Tabla 43. Costos del control por carga.

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Controlador			\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
Resistencias		3	\$ 35.000,00	\$ 105.000,00
Tanque			\$ 85.000,00	\$ 85.000,00
Válvula boya-flotador ½"		1	\$ 45.900,00	\$ 45.900,00
Tubo PVC ½" x 6m		1	\$ 9.913,00	\$ 9.913,00
Codo 90 PVC ½"		5	\$ 350,00	\$ 1.750,00
TOTAL				\$ 597.563,00

Fuente: Autores

Tabla 44. Costos del sistema de encendido y apagado electrónico

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Moto-reductor 12 VDC		1	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
Batería 12V 7.5A/hr			\$ 49.000,00	\$ 49.000,00
Bastidor moto-reductor			\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
Tarjeta principal (micro controlador)			\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Pulsador		2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
Caja plástica para tarjeta		2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
TOTAL				\$ 567.000,00

Fuente: Autores

RESUMEN DE COSTOS DE EQUIPOS

Tabla 45. Resumen de costos de equipos

DESCRIPCIÓN	Subtotal (Pesos Colombianos)
Costos del conjunto Turbina-Generador	\$ 5.857.400,00
Costos del control por carga	\$ 597.563,00
Costos del sistema de encendido y apagado electrónico.	\$ 567.000,00
TOTAL COSTOS DE EQUIPOS	\$ 7.021.963,00

Fuente: Autores

9.1.1.5 Costos de Transporte

La finca Mirasol está ubicada en una zona de difícil acceso, lo que encarece el transporte de los materiales de construcción y de equipos. Una parte del recorrido es en campero y otra a lomo de mula.

Tabla 46. Costos de transporte de material y equipos

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Transporte de Arena	m ³	6.2	\$ 27.500,00	\$ 170.500,00
Transporte de gravilla	m ³	2	\$ 27.500,00	\$ 55.000,00
Transporte de Cemento		45	\$ 10.000,00	\$ 450.000,00
Transporte de varillas			\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Transporte del conjunto turbina-generador y accesorios eléctricos			\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Transporte de tubería			\$ 600.000,00	\$ 600.000,00
Transporte Hojas de Zn			\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Transporte de Madera			\$ 37.500,00	\$ 37.500,00
TOTAL				\$ 1.473.000,00

Fuente: Autores

9.1.1.6 Costos por mano de obra

Tabla 47. Costos por mano de obra

Descripción	Tipo de personal	# de trabajadores	Días trabajados	Vr/día trabajador	Subtotal
Construcción de postes	Obrero	5	15	\$ 20.000,00	\$ 1.500.000,00
	Albañil	1	15	\$ 35.000,00	\$ 525.000,00
Construcción de obras de captación, Desarenador y Casa Maquina	Obrero	5	15	\$ 20.000,00	\$ 1.500.000,00
	Albañil	1	15	\$ 35.000,00	\$ 525.000,00
Excavación de la zanja para Tubería	Obrero	3	7	\$ 20.000,00	\$ 420.000,00
Instalación de la tubería de Presión	Obrero	3	4	\$ 20.000,00	\$ 240.000,00
	Técnico	1	2	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
Instalación de turbina y generador	Obrero	1	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
	Técnico	1	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
Instalación del sistema eléctrico y redes de transmisión	Obrero	5	8	\$ 20.000,00	\$ 800.000,00
	Técnico Electricista	1	8	\$ 50.000,00	\$ 400.000,00
Construcción de Vías de acceso	Obrero	7	4	\$ 20.000,00	\$ 480.000,00
TOTAL					\$ 6.530.000,00

Fuente: Autores

RESUMEN DE INVERSIONES

Tabla 48. Resumen de Inversión

DESCRIPCIÓN	Subtotal (Pesos Colombianos)
COSTOS DE ADQUISICIÓN DE MATERIALES	\$ 11.928.686,00
COSTOS DE EQUIPOS	\$ 7.021.963,00
COSTOS DE TRANSPORTE	\$ 1.473.000,00
COSTOS MANO DE OBRA	\$ 6.530.000,00
SUBTOTAL INVERSIONES	\$ 26.953.646,00
IMPREVISTOS (2%)	\$ 539.072,00
TOTAL INVERSIÓN	\$ 27.492.718,92

Fuente: Autores

9.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En una picocentral hidroeléctrica los costos de operación y mantenimiento son muy bajos a comparación de la inversión inicial. A estos costos obedecen los gastos de personal, Lubricantes y grasas, implementos de seguridad, papelería, repuestos y herramientas.

Tabla 49. Costos de operación y Mantenimiento

DESCRIPCIÓN	Subtotal (Pesos Colombianos)/ año
Personal	\$ 480.000,00
Grasa 3Kg	\$ 20.000,00
Utensilios de aseo	\$ 100.000,00
OTROS	\$ 100.000,00
TOTAL	\$ 700.000,00

Fuente: Autores

9.2 BENEFICIOS

Los beneficios que trae la picocentral hidroeléctrica para la finca Mirasol, más que los ingresos que esta representa sobrepasan la comodidad y el estilo de vida que ofrece un servicio tan indispensable como lo es la electricidad en un hogar. Dado que está ubicada en una zona remota y que los proyectos de electrificación rural quedan estancados en los despachos de nuestros representantes políticos, como es el caso de la Vereda Sacramento, que lleva decenas de intentos fallidos en búsqueda de tener este servicio, nace la necesidad de producir energía propia

para la finca. Por tanto cuantificar los beneficios podría realizarse al calcular el ahorro que representa el costo de la energía en relación al sistema interconectado.

9.2.1 Determinación del costo de la energía

Como se analizó en el estudio del requerimiento energético del presente proyecto, existen dos épocas en el año en la que se presentan consumos diferentes, para la época de cosecha de café se tiene un consumo de 4.776KW durante 3 meses y para el resto del tiempo el consumo será 2.910KW. Por tanto para el año los KWh consumidos serán.

$$E_{anual} = 2.910KW * 24h * 30días * 9meses + 4.776KW * 24h * 30días * 3meses$$

$$E_{anual} = 29172.96 Kwh/año$$

Si esta cantidad de energía se adquiriera por medio de la interconexión nacional, que tiene un precio vigente del Kwh de \$173 en la costa atlántica cobrados por ELECTRICARIBE para el caso de la finca Mirasol, se tendrá un costo de la energía por año de:

$$Consumo_{anual} = 29172.96 Kwh * 173 \frac{\$}{Kwh}$$

$$Consumo_{anual} = \$5046922.08/año$$

9.2.2 Depreciación del proyecto

Para determinar la depreciación del proyecto se utilizó el método de depreciación lineal, en el cual se considera que el bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde su valor inicial en el año de instalación hasta el valor que tendrá en el último año de su vida útil.

La vida útil para las picocentrales hidroeléctricas es de 50 años para las obras civiles y 30 años para maquinaria y equipo electromecánico, para este proyecto

siendo conservativos y teniendo en cuenta los materiales, el ambiente de trabajo y las condiciones en la que se construyó la picocentral se define como vida útil del proyecto 20 años.

Valor residual

El valor residual es el valor estimado que tendrá la picocentral hidroeléctrica al término de su vida útil, este valor resulta al considerar el desgaste o pérdida del valor de la planta, para este proyecto se considera que en el último año de vida tendrá un valor equivalente al 25% de la inversión inicial.

$$\text{Valor residual} = \text{Inversion} * 0.25$$

$$\text{Valor residual} = 27492718.92 * 0.25$$

$$\text{Valor residual} = \$6873179.73$$

La depreciación anual del proyecto será.

$$\text{Depreciacion}_{anual} = \frac{\text{Inversion} - \text{Valor residual}}{\text{vida util}}$$

$$\text{Depreciacion}_{anual} = \frac{\$27492718.92 - \$6873179.73}{20}$$

$$\text{Depreciacion}_{anual} = \$1030976.96$$

9.3 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

Los costos de la picocentral hidroeléctrica están distribuidos en la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento, obteniendo el flujo de caja por medio de la diferencia entre costos y beneficios.

Tabla 50. Flujo de caja

AÑO	BENEFICIOS			COSTOS			FLUJO DE CAJA
	VALOR ENERGÍA	VALOR RESIDUAL	BENEFICIO NETO	INVERSIÓN	OPERACIÓN Y MTTO	COSTO NETO	
0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 27.492.718,92	\$ -	\$ 27.492.718,92	-\$ 27.492.718,92
1	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
2	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
3	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
4	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
5	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
6	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
7	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
8	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
9	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
10	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
11	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
12	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
13	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
14	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
15	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
16	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
17	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
18	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
19	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 5.046.922,08	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 4.346.922,08
20	\$ 5.046.922,08	\$ 6.873.179,73	\$ 11.920.101,81	\$ -	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00	\$ 11.220.101,81

Fuente: Autores

Recuperación de la inversión.

Dentro de una evaluación económica de un proyecto, es de gran interés para los propietarios o inversionistas conocer el número de años que se necesitan para

poder recuperar con los beneficios el coste total de la inversión. El cálculo es como sigue:

$$\textit{Periodo de Retorno} = \frac{\textit{Costo de inversion}}{\textit{Beneficio neto anual}}$$

El beneficio neto anual corresponde a la diferencia ente el costo de la energía consumida por la finca en el año y el costo de operación mantenimiento para el mismo año.

$$\textit{Beneficio neto anual} = \textit{Consumo}_{\textit{anual}} - \textit{Costo de operacion y mtto}$$

$$\textit{Beneficio neto anual} = \$5046922.08 - \$ 700000.00$$

$$\textit{Beneficio neto anual} = \$ 4346922.08$$

$$\textit{Periodo de Retorno} = \frac{\$27492718.92}{\$ 4346922.08}$$

$$\textit{Periodo de Retorno} = 6.32 \textit{ Años} = 6 \textit{ Años 4 meses}$$

9.4 VALOR PRESENTE NETO.

Los beneficios esperados de una inversión realizada en un cierto momento y conservada a lo largo de su vida, radican esencialmente en la corriente de rendimientos futuros que se espera que la inversión propicie. La diferencia entre los ingresos y los gastos, descontados ambos, al año cero en el que se realizó la inversión es lo que se conoce como valor presente neto VPN y se calcula con la siguiente expresión.

$$VPN = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{I_i - E_i}{(1 + i)^n} + V_{residual}$$

Donde.

VPN= Valor presente neto

I_i = Ingresos en el año i

E_i = Egresos en el año i , representa los costos de operación y mantenimiento

i = tasa anual de descuento, representa la tasa de oportunidad vigente a la que se valorizaría el dinero si se captara por una entidad financiera en un CDT. A mayo del 2013 esta tasa es de 5.02% efectiva anual.

En la siguiente tabla se calcula el valor presente de los beneficios y los costos totales, con el fin de poderlos restar en el año cero y calcular el VPN.

Tabla 51. VPN Costos y Beneficios

AÑO	BENEFICIOS		COSTOS	
	Beneficio neto	Valor Presente Beneficios	Costo total	Valor presente Costos
0	\$ -	\$ -	\$ 27.492.718,92	\$ 27.492.718,92
1	\$ 5.046.922,08	\$ 4.805.677,09	\$ 700.000,00	\$ 666.539,71
2	\$ 5.046.922,08	\$ 4.575.963,71	\$ 700.000,00	\$ 634.678,83
3	\$ 5.046.922,08	\$ 4.357.230,73	\$ 700.000,00	\$ 604.340,92
4	\$ 5.046.922,08	\$ 4.148.953,27	\$ 700.000,00	\$ 575.453,17
5	\$ 5.046.922,08	\$ 3.950.631,57	\$ 700.000,00	\$ 547.946,26
6	\$ 5.046.922,08	\$ 3.761.789,73	\$ 700.000,00	\$ 521.754,20
7	\$ 5.046.922,08	\$ 3.581.974,60	\$ 700.000,00	\$ 496.814,13
8	\$ 5.046.922,08	\$ 3.410.754,71	\$ 700.000,00	\$ 473.066,21
9	\$ 5.046.922,08	\$ 3.247.719,21	\$ 700.000,00	\$ 450.453,45
10	\$ 5.046.922,08	\$ 3.092.476,87	\$ 700.000,00	\$ 428.921,58
11	\$ 5.046.922,08	\$ 2.944.655,18	\$ 700.000,00	\$ 408.418,95
12	\$ 5.046.922,08	\$ 2.803.899,43	\$ 700.000,00	\$ 388.896,35
13	\$ 5.046.922,08	\$ 2.669.871,86	\$ 700.000,00	\$ 370.306,95
14	\$ 5.046.922,08	\$ 2.542.250,87	\$ 700.000,00	\$ 352.606,12
15	\$ 5.046.922,08	\$ 2.420.730,21	\$ 700.000,00	\$ 335.751,40
16	\$ 5.046.922,08	\$ 2.305.018,29	\$ 700.000,00	\$ 319.702,34
17	\$ 5.046.922,08	\$ 2.194.837,45	\$ 700.000,00	\$ 304.420,44
18	\$ 5.046.922,08	\$ 2.089.923,30	\$ 700.000,00	\$ 289.869,01
19	\$ 5.046.922,08	\$ 1.990.024,09	\$ 700.000,00	\$ 276.013,15
20	\$ 11.920.101,81	\$ 4.475.480,67	\$ 700.000,00	\$ 262.819,61
VP Total Beneficios		\$ 65.369.862,86	VP Total costos	\$ 36.201.491,70

Fuente: Autores

De la tabla se tiene:

$$VPN = \$65369862.86 - \$ 36201491.70$$

$$VPN = \$29168371.16$$

Este valor indica que el proyecto es rentable económicamente y que la finca Mirasol se valorizara en un monto adicional equivalente al VPN.

9.5 RELACIÓN BENEFICIO-COSTO

La relación beneficio-costo toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto. Esta relación mide el grado de desarrollo y bienestar que la picocentral hidroeléctrica puede generar. En el análisis la relación Beneficio –Costo (B/C) puede tomar valores mayores, menores o iguales a 1, lo que implica que:

B/C>1. Implica que los ingresos superan los egresos, entonces el proyecto es viable.

B/C=1. Los ingresos son iguales a los egresos, por tanto el proyecto es indiferente.

B/C<1. Los ingresos son menores que los egresos, por tanto el proyecto no es aconsejable.

Para este proyecto se tiene:

$$B/C = \frac{VPN \text{ de los Beneficios}}{VPN \text{ de los Costos}}$$

$$B/C = \frac{\$65369862.86}{\$ 36201491.70} = 1.8$$

B/C > 1. Por tanto este indicador notifica que el proyecto es conveniente.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- ✓ La turbina Pelton implementada en el presente proyecto es un producto funcional, necesario y viable económicamente en zonas rurales en las cuales se cuente con una fuente hídrica que satisfaga las necesidades de potencia requeridos por el consumidor.

- ✓ El diseño y construcción de una Pico-central Hidroeléctrica de 5 KW, se cumplió gracias a la sincronización apropiada entre los parámetros de diseño y los procesos de manufacturan, lo cual se reflejó en la reducción de errores en las piezas, facilidad de ensamble y funcionalidad adecuada del equipo.

- ✓ En las pruebas de funcionamiento realizadas se logró obtener valores de potencia generada de 5071 W, para una eficiencia de la turbina de 78 %, y eficiencia de la red de transmisión del 96 %, con lo cual suple los requerimientos de energía propuestos por el proyecto y se abastece la potencia requerida en la vivienda.

- ✓ El sistema de control por carga empleado en este tipo de proyecto brinda la posibilidad mantener la potencia generada constante ante la variación de consumos que se presenta en la vivienda, lo cual se realiza de manera eficaz y con oscilaciones en la tensión de la red alrededor del 3 %.

- ✓ Dentro del proyecto se realiza la construcción de la casa maquinas en la cual se implementó un panel de monitoreo de variables como tensión y corrientes de las fases, con lo cual se logró supervisar el comportamiento del equipo en condiciones de operación.

- ✓ El uso de un circuito integrado para el control de apertura y cierre de la válvula accionado por un moto-reductor eléctrico, es un sistema que ofrece comodidad y seguridad al usuario de la Pico-central hidroeléctrica para encender o apagar la planta desde su lugar de consumo ubicado a 500 metros de la casa máquina, en caso de presentarse alguna falla.

- ✓ Dentro del diseño de la Pico-central Hidroeléctrica se implementa un análisis teórico corroborado mediante herramientas CAE, lo cual entrega confiabilidad en los parámetros de diseño y en la selección de equipos para el proyecto.

- ✓ La selección de equipos eléctricos se ve altamente influenciada por la disponibilidad de los equipos en el mercado, los costos de los equipos, y la disponibilidad de repuestos y mantenimiento en el mercado, por lo cual estos parámetros se convirtieron en condicionantes importantes para la elección.

- ✓ En el proyecto se prestó la asistencia técnica de operación, mantenimiento e instalación de la maquina al personal de manejo, a lo cual se anexaron las guías de inspección, el registro de mantenimiento y diagnósticos de fallas con tal de mantener una buenas condiciones de operación de la máquina.

- ✓ A la turbina se le adicionaron en el eje un par de sellos sin contacto fabricados en teflón, que resuelve la condición de fugas alrededor del eje de la turbina. Se recomienda mantener unas distancias entre discos de 1 mm con tal de evitar pérdidas por fricción en los elementos.

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente: concreto estructural. NSR-10-C. Bogotá D.C. AIS, 2010. 578 p.

BUDYNAS, Richard G y NISBETT, J Kieth. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 8ª. Ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1059 p.

CENGEL, Yunus A y CIMBALA, John M. Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones. México, D.F., Mc Graw Hill, 2006. 870p.

CORCHO, Freddy H y DUQUE, Jose I. Acueductos: teoría y diseño. 3ª. Ed. Medellín: universidad de Medellín, 2005. 640 p.

CRANE, División de Ingeniería. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Mc. Graw Hill. 1987

II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Manual de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bucaramanga. Octubre, 1985, vol 4.

D"ROZ, Néstor R. Ensayo de un modelo de turbina pelton. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Departamento de ingeniería mecánica, 1983.

DE SIERVO, F. and LUGARESI, A. "Modern trends in selecting and Designing Pelton Turbines", Water Power and Dam Construction, Vol. 30, No.12, 1978.

DONALD G. NEWNAN. Análisis económico en ingeniería. México, D.F., Mc Graw Hill, 1985. 541p

FAIRES, Virgil M. Diseño de elementos de máquinas. México: Limusa, 1998. 802 p.

GONZALEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento y Montajes, Cap. 4. Gestión de mantenimiento. Bucaramanga: UIS, 2001.

GROOVER, Mikel P. Fundamentos de manufactura moderna. Planeación y control de la producción. México: McGraw-Hill, 2007.

HAMROCK, Bernard J; JACOBSON, Bo O y SCHMID, Steven R. elementos de máquinas. México: McGraw-Hill, 1999. 926 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código eléctrico colombiano. NTC-2050. Bogotá D.C.: INCONTEC, 1998. 1041 p.

INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP: OLADE. Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos. Lima: ITDG. 1995. 280 p.

JARAMILLO, Octavio y BAQUERO, José. Criterios para la determinación del número de cucharas en una turbina pelton. En: Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia. Diciembre 1985. No.12, p 53-58.

LOPEZ, Ricardo A. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2ª. Ed. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería, 2011. 546 p.

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª. Ed. Madrid: Ediciones del Castillo, 1970. 528 p.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DE COLOMBIA. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de acueductos. RAS-2000-B. Bogotá D.C.: Ministerio de desarrollo económico, 2000. 212 p.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA. Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Santafé de Bogotá D.C, 1997

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA DE COLOMBIA. Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. RETIE. Bogotá D.C.: ministerio de minas y energía, 2008. 212 p.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4ª. Ed. México: Pearson educación, 2006. 930 p.

NETTO, Acevedo. Manual de hidráulica. São Paulo. Edgard Blücher, 1998. 669 p

NTN CORPORATION. "Bearing units steel series". www.ntsudamericana.com

OPTIBELT POWER TRANSMISSION. "catálogo transmisiones por correas trapezoidales". web.optibelt.com

POTTER, Merle C . Mecánica de fluidos. 3ª. Ed. México: Thomson, 2002. 769 p.

SISA, Edison F y VILLAROEL, Wilmer M. Diseño e instalación de una picocentral hidroeléctrica en la hacienda la Isabela. Trabajo de grado para optar el título de ingeniero mecánico. Riobamba-Ecuador. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de mecánica. Escuela de ingeniería mecánica, 2009. 199 p.

THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard dimensions of polyethylene pipe. New York: AWWA 901-08, 2008. 36 p.

ANEXOS

**ANEXO A. FORMATOS DE INSPECCIÓN VISUAL Y REGISTROS DE
MANTENIMIENTOS**

Formato de inspección visual y parámetros de funcionamiento

PICOCENTRAL HIDROELECTRICA FINCA MIRASOL						
FORMATO DE INSPECCION VISUAL Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO						
DATOS DE LA INSPECCION				PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO		
INSPECTOR				CORRIENTE FASE 1 (A)	CORRIENTE FASE 2 (V)	VOLTAJE FASE/NEUTRO (V)
FECHA		HORA				VOLTAJE FASE/FASE (V)
LISTADO DE INSPECCIÓN			Vo. Bo.	Nota Nº	OBSERVACIONES / NOTAS	
FUGAS						
Obras de captación						
Tubería (Uniones)						
Turbina						
Cuerpo de válvula						
Otros						
PRESENCIA DE OBJETOS EXTRAÑOS						
En la bocatoma						
En el Desarenador						
En Casa maquina						
Otros						
VIBRACIÓN						
Excesiva vibración en la tubería						
En la Turbina						
En el Generador						
Otros						
CORROSIÓN						
Pintura deteriorada						
Crecimiento biológico						
Otros						
REDES ELECTRICAS						
Rotura de conductores						
Desajuste de conexiones						
Rotura de aisladores						
Desajustes en templetes						
Formación de sulfatos en conexiones						
Fluctuación del voltaje						
Calentamiento de cables						
Otros						
CONTROL DE CARGA						
Conexiones						
Banco de resistencias						
Tanque de calentamiento de agua						
Alimentación de agua						
Otros						

Formato de registros de mantenimientos.

<p align="center">PICOCENTRAL HIDROELECTRICA FINCA MIRASOL REGISTROS DE MANTENIMIENTO</p>							
NOMBRE DEL MANTENEDOR:						FECHA:	
ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO							
EQUIPO	AJUSTE DE PERNOS	ENGRASE	LIMPIEZA GENERAL	CAMBIO DE REPUESTO	OTROS	OBSERVACIONES NOTA	
BOCATOMA							
DESARENADOR							
TUBERIA							
VALVULA							
TURBINA							
GENERADOR							
POLEAS							
CORREAS							
TABLERO DE CONTROL							
BANCO DE RESISTENCIAS							
OTROS							
OBSERVACIONES.							

ANEXO B. TRAMITES AMBIENTALES

Respuesta sobre Solicitud de información sobre permisos ambientales para la hidroeléctrica en la finca mirasol



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL MAGDALENA
NIT. 800.099.287-4

4.1-23-03 7144

SANTA MARTA, 30 ABR 2012

Señor:
EZEQUIEL VILLEGAS CONTRERAS
E-mail: ezequiel.villegas@correo.uis.edu.co

Referencia: Solicitud de Información Rad. 1977 de Abril 13 de 2012.

Cordial Saludo,

Por medio de la presente me permito dar respuesta a su solicitud de información radicada bajo el número de la referencia, manifestando lo siguiente:

El decreto 2820 de 2010 señala en sus artículos:

ARTÍCULO 8º. Numeral 4 Competencias del MAVDT en el sector eléctrico.

- a) La construcción y operación de centrales generadoras de energía eléctrica con capacidad instalada igual o superior a 100 MW;
- b) Los proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes con capacidad instalada superior a 3MW;
- c) El tendido de las líneas de transmisión del sistema nacional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones iguales o superiores a 220 KV.

ARTÍCULO 9º. Numeral 4 Competencias de las autoridades ambientales regionales en el sector eléctrico.

- a) La construcción y operación de centrales generadoras con una capacidad mayor o igual a 10 y menor de 100 MW, diferentes a las centrales generadoras de energía a partir del recurso hídrico;
- b) El tendido de líneas del sistema de transmisión conformado por el conjunto de líneas con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 KV y que no pertenecen a un sistema de distribución local;

- c) La construcción y operación de centrales generadoras de energía a partir del recurso hídrico con una capacidad menor a 100 MW; exceptuando las pequeñas hidroeléctricas destinadas a operar en Zonas No Interconectadas (ZNI) y cuya capacidad sea igual o menor a 10 MW.

ARTÍCULO 10º. Los proyectos de Licencia Ambiental de competencia de las Autoridades Ambientales Regionales, requieren un concepto técnico por parte del Ministerio, cuando éstos pretendan intervenir humedales, páramos o manglares.

Avenida del Libertador No. 32 - 201 Barrio Fayrona
Conmutador: (57) (5) 4211395 - 4213089 - 4211680 4211344 Fax: ext 117
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, Colombia
www.corpamag.gov.co - e-mail: contactenos@corpamag.gov.co

FR.DB.04



Edic. 2012/01/19_Versión 05



FORMULARIO ÚNICO NACIONAL DE SOLICITUD DE OCUPACION DE CAUCES, PLAYAS Y LECHOS
Base legal: Ley 99 de 1993, Decreto LEY 2811 DE 1974, Decreto 1541 DE 1978

DATOS DEL SOLICITANTE

- Persona Natural
Persona Jurídica Pública Privada
- Nombre o Razón Social: _____
C.C. NIT No. _____ de _____
Dirección: _____ Ciudad: _____
Teléfono (s): _____ Fax: _____ E-mail: _____
Representante Legal: _____
C.C. No. _____ de _____
Dirección: _____ Ciudad: _____
Teléfono (s): _____ Fax: _____ E-mail: _____
- Apoderado (si tiene): _____ T.P.: _____
C.C. No. _____ de _____
Dirección: _____ Ciudad: _____
Teléfono (s): _____ Fax: _____ E-mail: _____
- Calidad en que actúa: Propietario Arrendatario Poseedor Otro Cual? _____

INFORMACIÓN GENERAL

- Nombre del predio o sucursal: _____ Área: _____ Ha m²
- Dirección del predio: _____ Urbano Rural
- Departamento: _____ Municipio: _____ Vereda o barrio: _____
- Sector: _____ Actividad: _____
- Nombre del propietario del predio: _____
- Costo del proyecto: \$ _____ Valor en letras: _____

INFORMACIÓN CAUCE, LECHO/ PLAYA

- Nombre de la fuente hídrica: _____ Cuenca: _____
- Longitud: _____ Unidad: _____ Ancho: _____ Unidad: _____
- Departamento: _____ Municipio/Localidad: _____ Vereda/Barrio: _____
- Coordenadas: X _____ Y _____
- Uso de la fuente en el área de influencia: _____
- Características de la fuente hídrica en el sitio de la obra:
Pendiente del lecho: _____ %
Alineamiento: Recto Meándrico Otro Cual? _____

INFORMACIÓN DE LA OBRA A EJECUTAR

- Descripción de la obra: _____

Longitud (m): _____ Altura (m): _____ Área de Ocupación (m²): _____ Ancho (m): _____
- Sección: Circular Trapezoidal Triangular Cajón En U Abovedada
- Recursos naturales a aprovechar: _____
- Licencia o permiso. Resolución No. _____ Fecha: _____
- Tipo de Ocupación: Permanente Provisional

DOCUMENTACIÓN QUE DEBE ANEXAR A LA SOLICITUD

- Documentos que acrediten la personería jurídica del solicitante
Sociedades: Certificado de existencia y representación legal
Juntas de Acción Comunal: Certificado de existencia y representación legal. Personería Jurídica y/o Certificación e Inscripción de Dignatarios (expedida por la Gobernación)
- Poder debidamente otorgado cuando se actúe por medio de apoderado.
Propietario del inmueble: Certificado de libertad y tradición (fecha de expedición no superior a 3 meses)
Tenedor: Copia del documento que lo acredite como tal (contrato de arrendamiento, comodato, etc.) o autorización del propietario o poseedor.
Poseedor: Manifestación escrita y firmada de tal calidad
- Certificado de existencia y representación legal para el caso de persona jurídica, el cual debe haber sido expedido dentro de los tres (3) meses anteriores a la fecha de presentación de la solicitud.
- Autorización del propietario o poseedor cuando se actúe como mero tenedor o por contrato de arrendamiento.
- Certificado de tradición expedido máximo con tres (3) meses de antelación.
- Plano de localización de la fuente hídrica en el área de influencia.
- Planos y memoria de cálculo.

FIRMA DEL SOLICITANTE O APODERADO DEBIDAMENTE CONSTITUIDO

FECHA: _____

**ANEXO C. LINEAS DE CODIGO PROGRAMACION SISTEMA DE APAGADO
Y ENCENDIDO DESDE EL LUGAR DE CONSUMO.**

Líneas de Código programación micro-controlador Apertura y cierre de válvula desde el lugar de consumo.

```
#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */

#ifdef __cplusplus
extern "C"
#endif

#define led1 PTBD_PTBD7
#define led2 PTBD_PTBD6
#define led3 PTBD_PTBD5
#define IN1A PTAD_PTAD0
#define IN1B PTAD_PTAD1
byte a;
unsigned int num;
void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */
void tiempo (byte t)
{
    RTCSC=0x8D;
    RTCMOD=t;
    while(RTCSC_RTIF==0)
    {}
    RTCSC_RTIF=1;
}

void motor (int velocidad)
{
    unsigned int vel;
    if (velocidad>0)
    {
        vel=velocidad;
        IN1A=1;
        IN1B=0;
    }

    else if(velocidad==0)
    {
        vel=6000;
        IN1A=1;
        IN1B=1;
    }

    else
    {
        vel=(-1)*(velocidad);
        IN1A=0;
        IN1B=1;
    }

    (void)(TPM1C2SC == 0); /* Channel 0 int. flag clearing (first part) */
    TPM1C2SC = 0x28; /* Int. flag clearing (2nd part) and channel 0
    contr. register setting */
    TPM1C2V = (unsigned short)(vel);
}

void main(void)
{
    MCU_init();
    motor(0);
    num=0;
    led1=1;
    tiempo(19);
    led1=0;
}
```

```

a=0;

for(;;)
{
  if (PTBD_PTBD0 == 0 && a==0)
  {
    while(PTBD_PTBD0 == 0)
    {
      led2=1;
      motor(20000);
      tiempo(209);
      motor(0);
      a=1;
      led2=0;
    }
  }

  else if (PTBD_PTBD0 == 0 && a==1)
  {
    led3=1;
    motor(-20000);
    tiempo(209);
    motor(0);
    a=0;
    led3=0;
  }

  else if(PTBD_PTBD2==1)
  {
    while(PTBD_PTBD2==1)
    {}
    num++;
  }

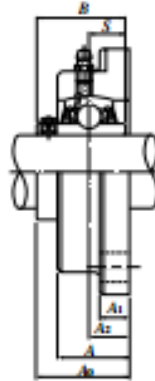
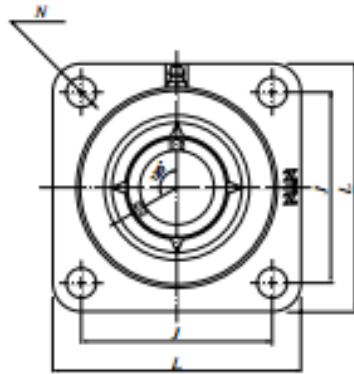
  else
  {
    motor(0);
  }
}
}

```

ANEXO D. PRINCIPALES DIMENSIONES CHUMACERA NTN UCFG205D1

Square Flange Unit; UCFG2 series

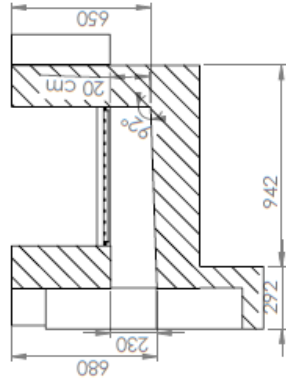
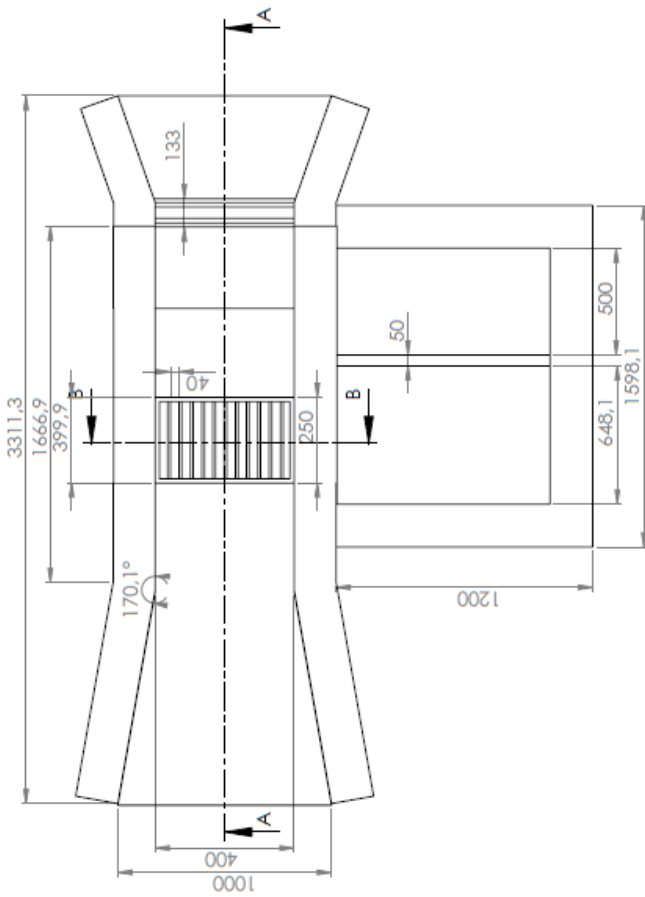
Cylindrical bore with set screw



Bore dia. mm	Part number	Boundary dimensions mm									Nominal bore dia.	Insert bearing number	Basic dynamic rated load kN Cr	Basic static rated load kN Cor	Housing part number	Mass kg (Ref.)
		L	J	A ₂	A ₁	A	N	A ₀	B	S						
12	UCFG201D1	86	64	15	11	25.5	12	33.3	31	12.7	M10	UC201D1	12.8	6.65	FG204D1	0.7
15	UCFG202D1															
17	UCFG203D1															
20	UCFG204D1															
25	UCFG205D1	95	70	16	13	27	35.7	34	14.3	M10	UC205D1	14.0	7.85	FG205D1	0.8	
30	UCFG206D1	108	83	18		31										40.2
35	UCFG207D1	117	92	19	15	34	44.4	42.9	17.5	M12	UC207D1	25.7	15.3	FG207D1	1.4	
40	UCFG208D1	130	102	21		36										51.2
45	UCFG209D1	137	105	22	16	38	52.2	51.6	19	M14	UC209D1	32.5	20.4	FG209D1	2.2	
50	UCFG210D1	143	111			40										54.6
55	UCFG211D1	162	130	25	18	43	58.4	55.6	22.2	M16	UC211D1	43.5	29.2	FG211D1	3.6	
60	UCFG212D1	175	143	29		48										68.7
65	UCFG213D1	187	149	30	22	50	69.7	74.6	30.2	M16	UC213D1	57.5	40.0	FG213D1	5.5	
70	UCFG214D1	193	152	31		54										75.4
75	UCFG215D1	200	159	34	56	78.5	77.8	33.3	M20	UC215D1	66.0	49.5	FG215D1	6.9		
80	UCFG216D1	208	165		58	83.3	82.6								23	87.6
85	UCFG217D1	220	175	36	24	63	87.6	85.7	34.1	M20	UC217D1	83.5	64.0	FG217D1		
90	UCFG218D1	235	187	40		68	96.3	96	39.7						M20	UC218D1

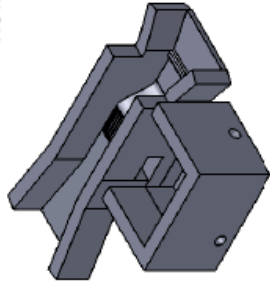
ANEXO E. PLANOS

VISTA SUPERIOR

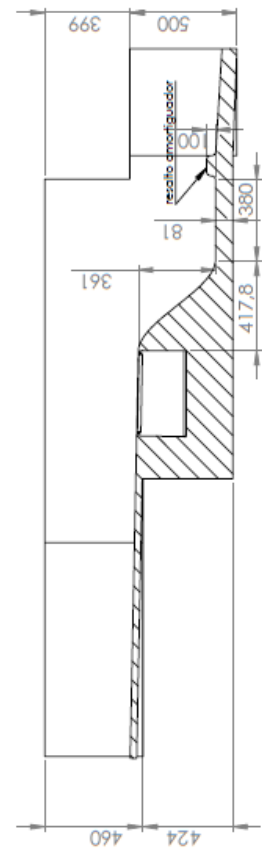


SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 20

VISTA ISOMETRICA



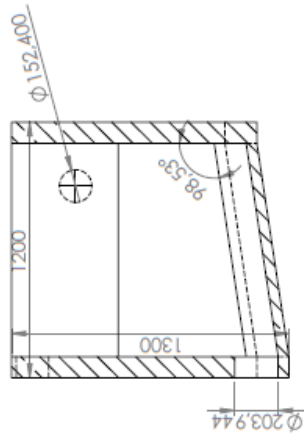
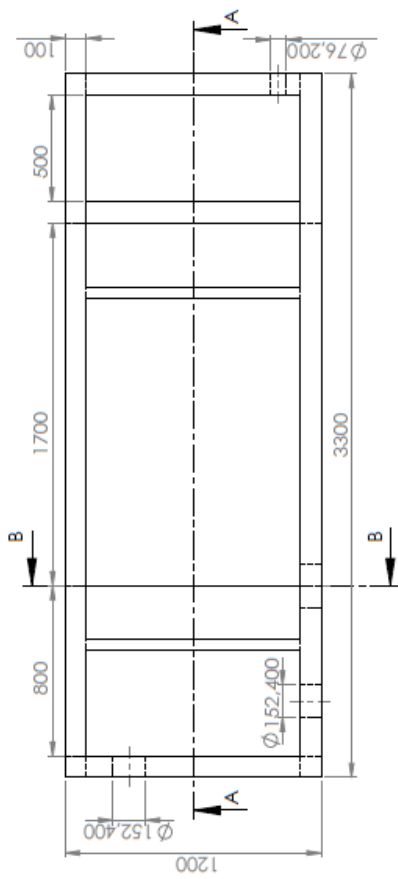
ESCALA 1 : 50



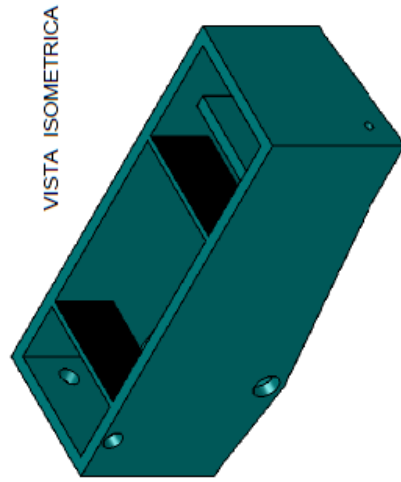
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 20

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		BOCATOMA DE FONDO	
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		NORMA: ISO	
FECHA: 15/03/2013	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROYECTORA PARA LA TIRICA MÓVIL	UNIDADES: mm	FORMATO: A3
DIBUJÓ: ESTEBAN VILLACAS - JULIO MIRANDA		MATERIAL: Escabe	COD: 00-00-00
APROBÓ: ING. NESTOR SALDÓRIZ		ESCALA: 1:20	PÁGINA 1 DE 1

VISTA SUPERIOR

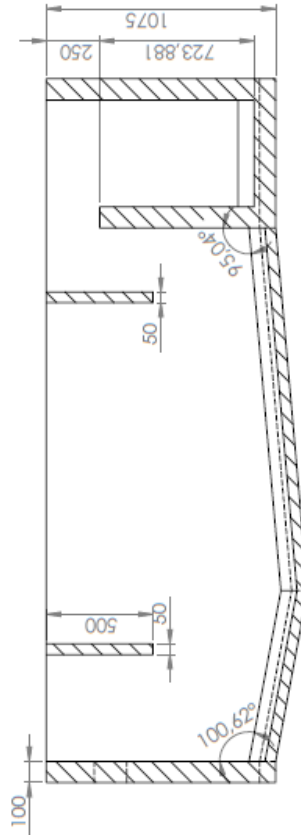


SECCIÓN B-B



VISTA ISOMETRICA

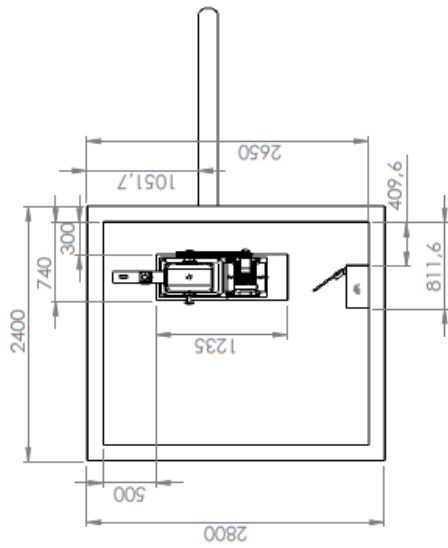
ESCALA 1:30



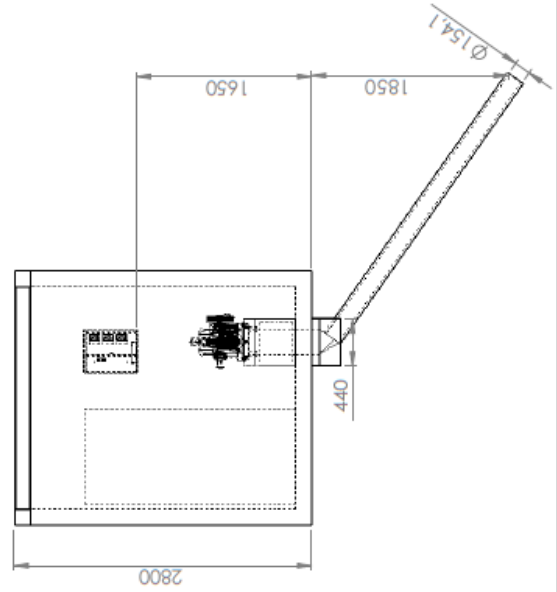
SECCIÓN A-A

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO		DESARENADOS DE PLACAS DEFLECTORAS		UNIDADES	mm	FORMATO:	A3
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		PROYECTO:		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDURAL HIDROELECTRICA DE 5 MW PARA LA FICHA 8740002		ESCALA:	ISO	UNIDADES:	mm
FECHA:	15/03/2013	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDURAL HIDROELECTRICA DE 5 MW PARA LA FICHA 8740002		MATERIAL:		ESCALA:	1:30	UNIDADES:	mm
DESA:	ERIQUEL VILLALBA - JULIO MIRANDA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDURAL HIDROELECTRICA DE 5 MW PARA LA FICHA 8740002		MATERIAL:		ESCALA:	1:30	UNIDADES:	mm
APROBADO:	ING. NESTOR PALE D'ARCE	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDURAL HIDROELECTRICA DE 5 MW PARA LA FICHA 8740002		MATERIAL:		ESCALA:	1:30	UNIDADES:	mm
		PÁGINA 1 DE 1							

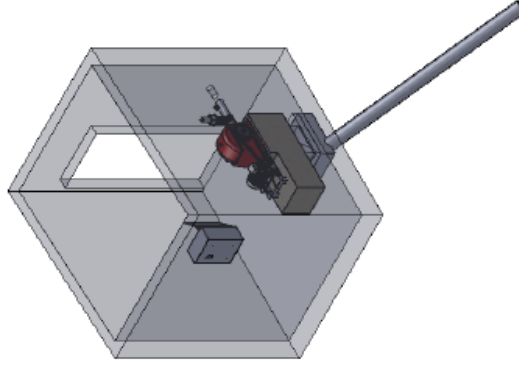
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

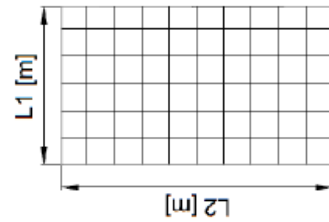
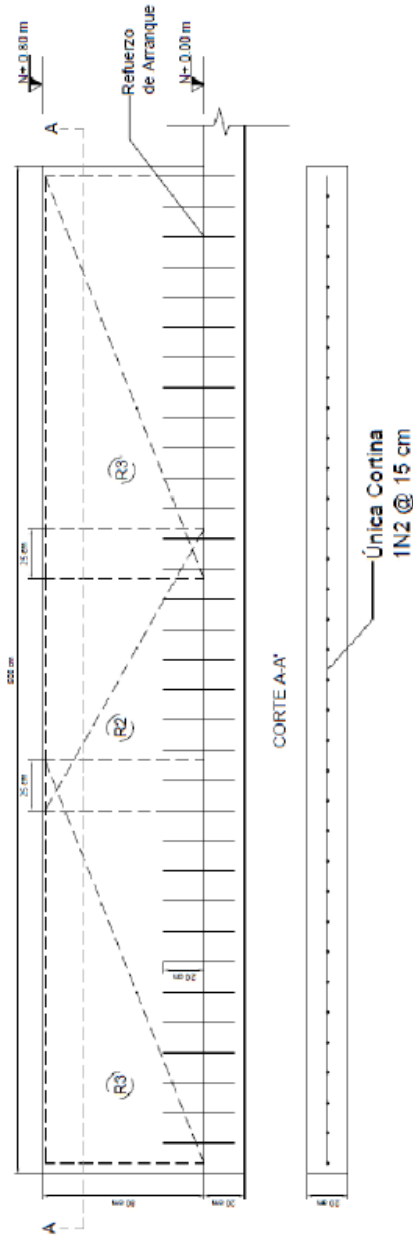


VISTA ISOMETRICA



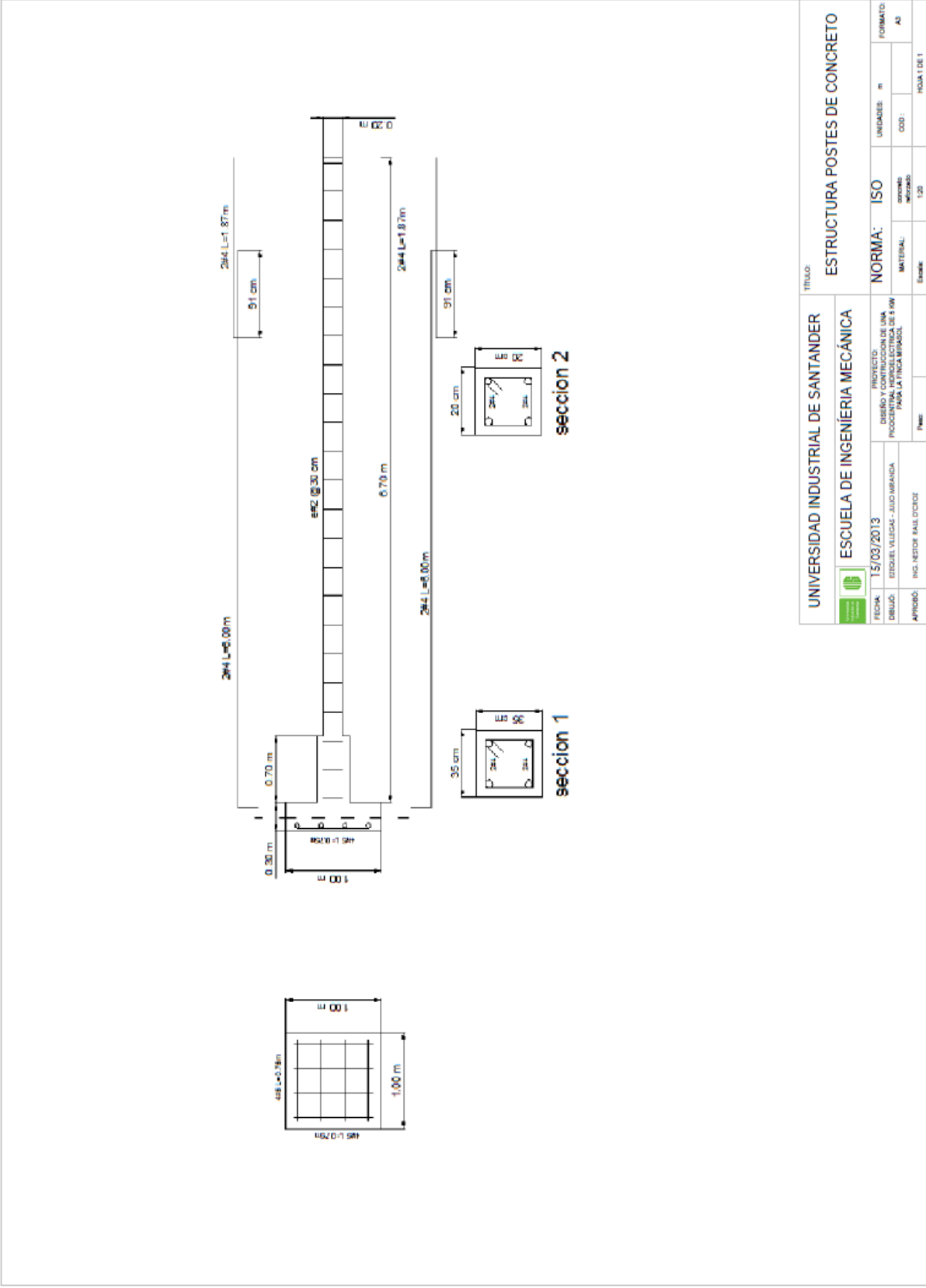
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: CASA MAQUINAS	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCESSION PARA LA FICHA M34000	FECHA: 15/03/2013	UNIDADES: mm	FORMATO: A3
DISEÑO: ESTEBEL VELEZAS - JUDY MARANDA	APROBADO: ING. JESOR BALDORCE	COO: 04-0000	
MATERIAL: INOX		ESCALA: 1:20	POLIA 1 DE 1

MURO 1

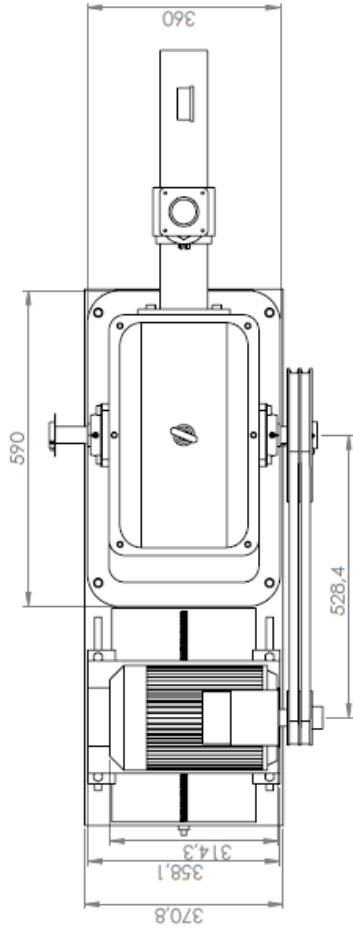


TIPO	ARMADURA		REF. LONGITUDINAL		REF. TRANSVERSAL	
	L1 [m]	L2 [m]	ø [mm]	Separación [mm]	ø [mm]	Separación [mm]
R2	2.0000	0.8000	6.3500	150	6.3500	150
R3	1.4000	0.8000	6.3500	300	6.3500	300
R4	1.6000	0.6000	6.3500	300	6.3500	300
R5	0.6000	0.8000	6.3500	300	6.3500	300

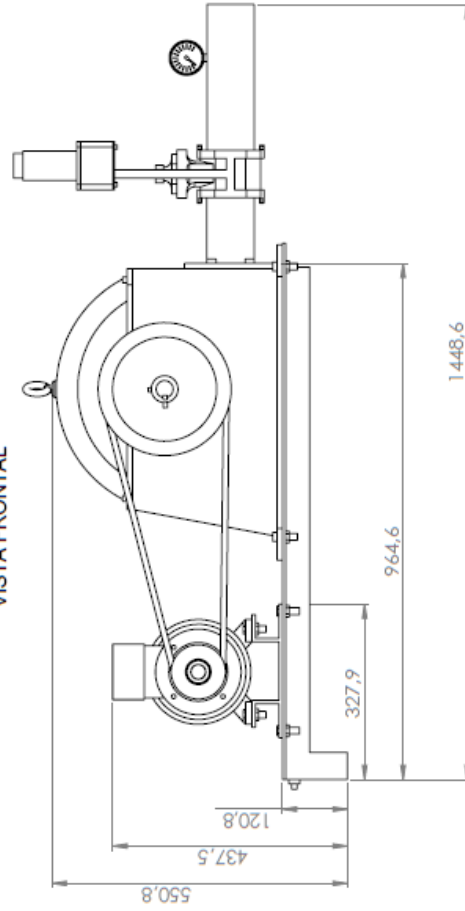
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: MURO DE REPRESAMIENTO	
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		NORMA: ISO	
FECHA: 15/03/2013	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDURAL HIDROELECTRICA DE 5 MW PARA LA TICA ESPAZOL	MATERIAL: acero laminado	UNIDADES: cm
DEBIL: EDUAR VILLIGAS - JILIO IBARRANDA	FECHA: 15/03/2013	ESCALA: 1:20	COD: 02-00-00
APROBADO: ING. NESTOR PAUL DÍAZ			FORMATO: A3
			PÁGINA 1 DE 1



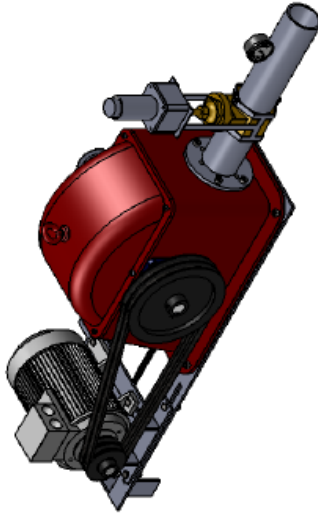
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

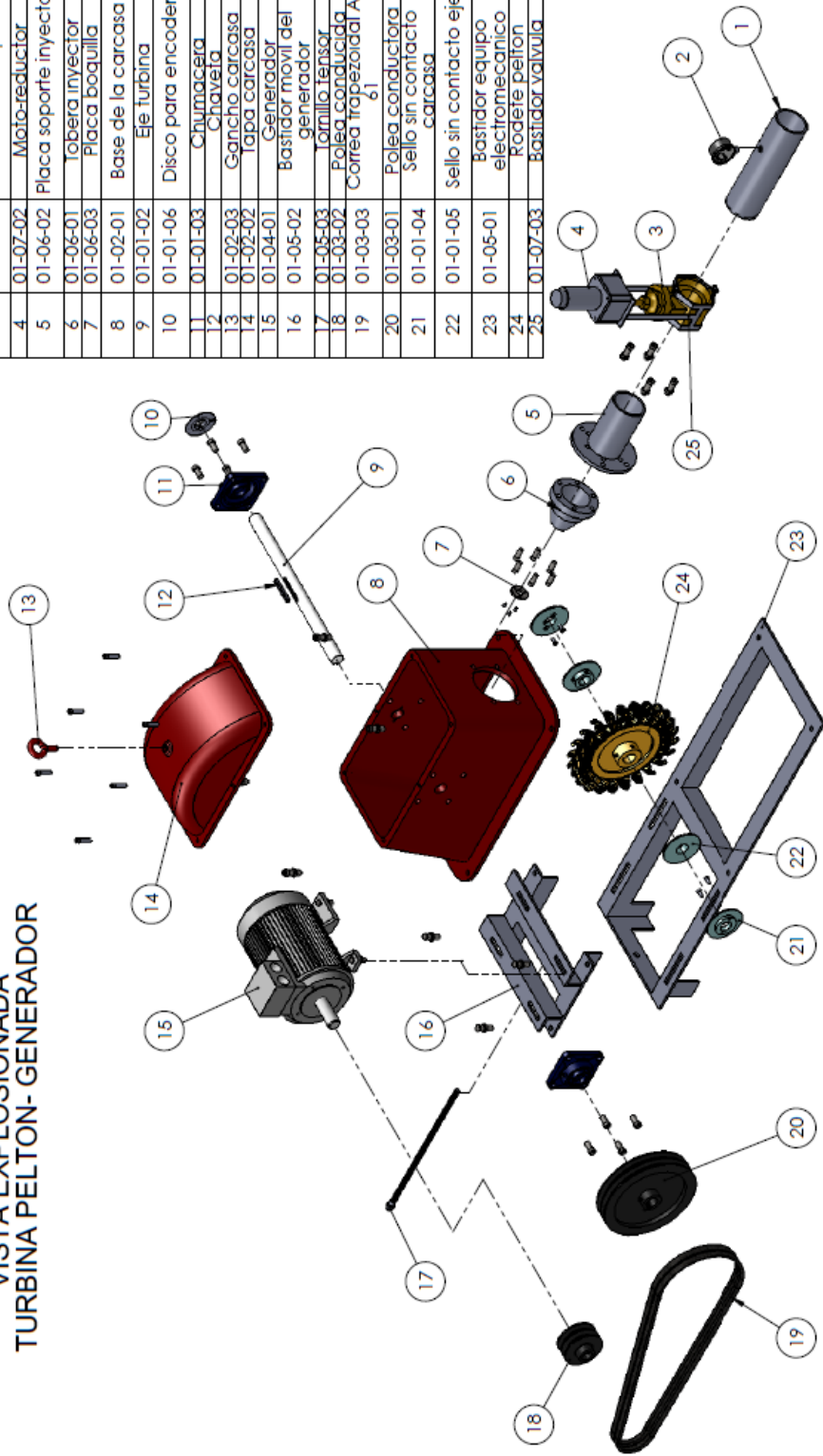


VISTA ISOMETRICA
ENSAMBLE TURBINA PELTON-GENERADOR



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: TURBINA ENSAMBLE	
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		NORMA: ISO	
FECHA: 15/03/2013	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PEQUEÑA TURBINA PELTON DE 5 KW PARA LA TRINCA MIRASOL	UNIDADES: mm	FORMATO: A3
DEBLAJ: EDUAR VALLEGAZ - JULIO MIRANDA	PAIS: COLOMBIA	ODD:	91-20-00
APROBADO: ING. NESTOR RUIZ DÍAZ	Peso: 100 kg	MATERIAL:	1:5
		Escala:	HOJA 1 DE 1

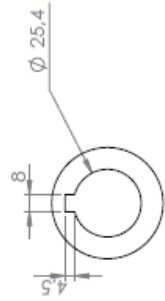
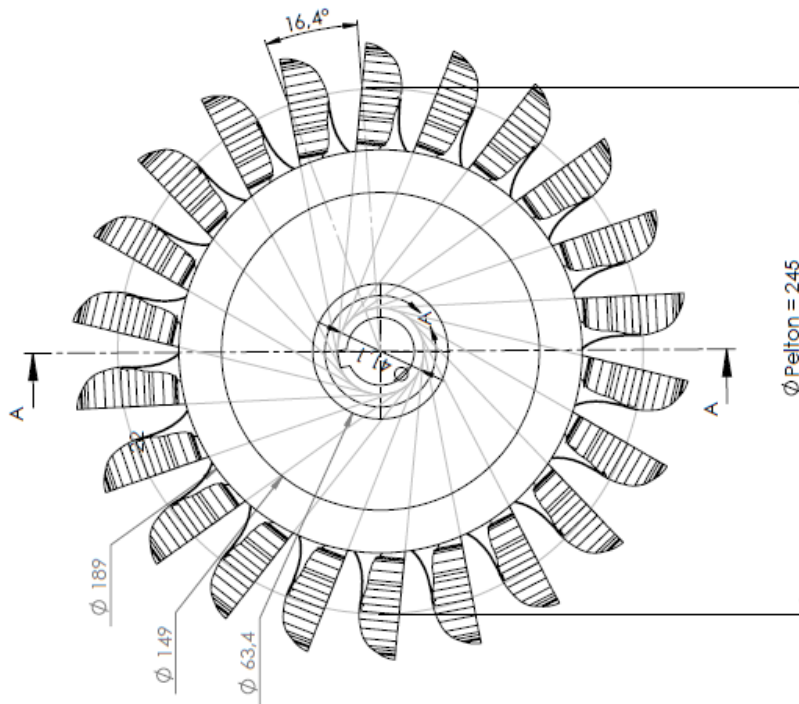
VISTA EXPLOSIONADA TURBINA PELTON-GENERADOR



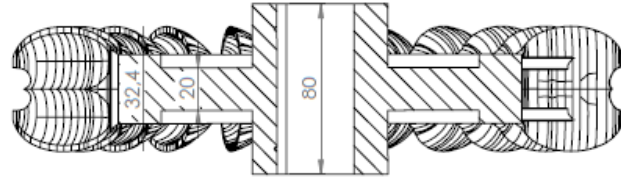
COMPONENTES TURBINA PELTON			
N° de pieza	codigo	Nombre	cantidad
1	01-07-04	Sub- Conexion manómetro	1
2	01-07-05	Manómetro	1
3	01-07-01	Válvula de compuerta	1
4	01-07-02	Moto-reductor	1
5	01-06-02	Placa soporte inyector	1
6	01-06-01	Tobera inyector	1
7	01-06-03	Placa boquilla	1
8	01-02-01	Base de la carcasa	1
9	01-01-02	Eje turbina	1
10	01-01-06	Disco para encoder	1
11	01-01-03	Chumacera	2
12		Chaveta	3
13	01-02-03	Gancho carcasa	1
14	01-02-02	Tapa carcasa	1
15	01-04-01	Generador	1
16	01-05-02	Bastidor móvil del generador	1
17	01-05-03	Tornillo tensor	1
18	01-03-02	Polea conductora	1
19	01-03-03	Correa trapezoidal A-61	2
20	01-03-01	Polea conductora	1
21	01-01-04	Sello sin contacto carcasa	2
22	01-01-05	Sello sin contacto eje	2
23	01-05-01	Bastidor equipo electromecánico	1
24		Rodete pelton	1
25	01-07-03	Bastidor válvula	1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		TÍTULO	
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:	DISEÑO Y CONTRUCCION DE UNA PROCEDURAL PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE TRABAJO	EXPLOSION TURBINA	
DEBIDO:	EDUAR VILLALBA - AYO MIRANDA	PROFESOR:	ING. NESTOR BALDORCE	NORMA:	ISO
APROBADO:		ESTUDIANTE:		UNIDADES:	mm
				COD:	01-08-00
				MATERIAL:	
				Escala:	1:10
					PÁGINA 1 DE 1

VISTA FRONTAL

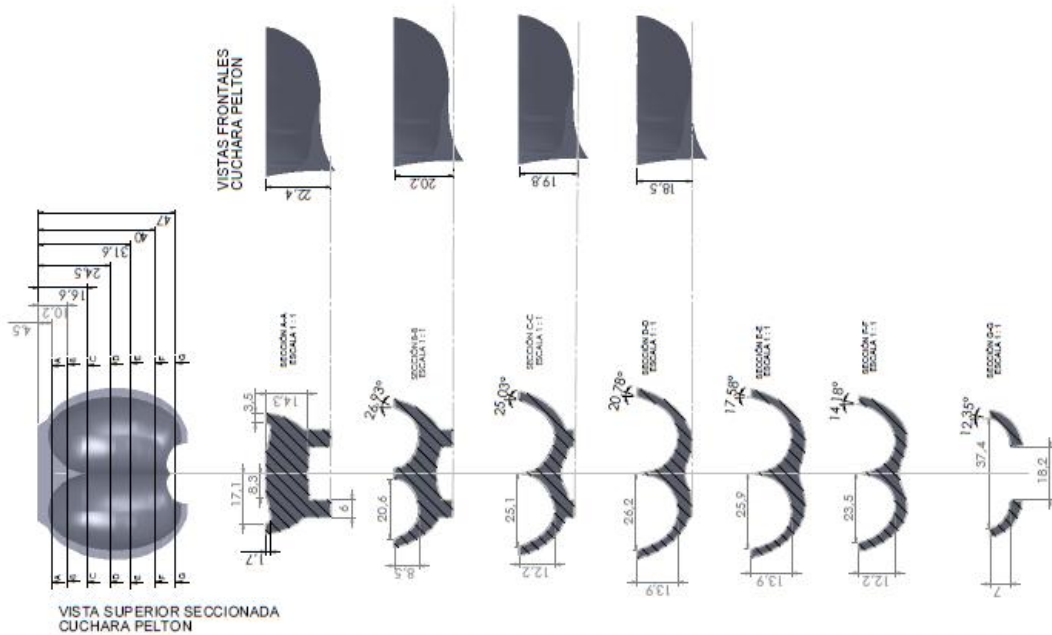


DETALLE A
ESCALA 1:2

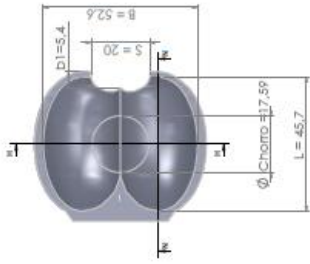


SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: RODETE TURBINA	
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		NORMA: ISO	
FECHA: 15/03/2013	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROTOTIPAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA TRUCA MARIÓL	UNIDADES: mm	FORMATO: A3
DESAJ: ESTEBEL VILLICAS - JULIO RAMANDA	PROF: ING. NESTOR PAUL DÍAZ	COD: 01-01-01	HOJA 1 DE 2
APROBÓ: ING. NESTOR PAUL DÍAZ	Peso: 10 kg	MATERIAL: Fundición gris	
		Escala: 1:2	

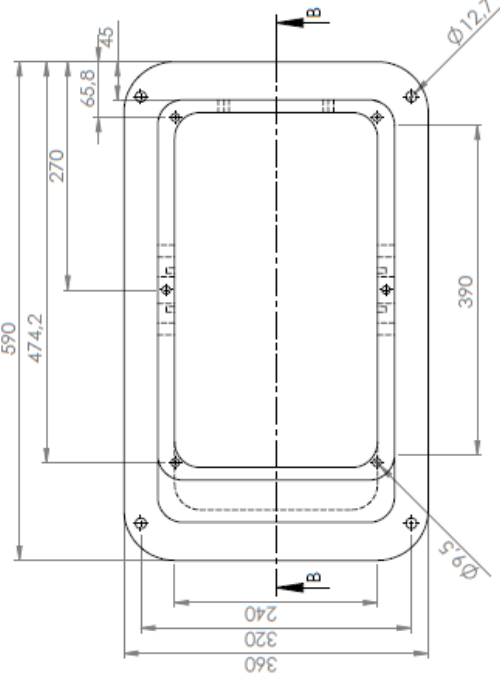


ISOMETRICO CUCHARA PELTON

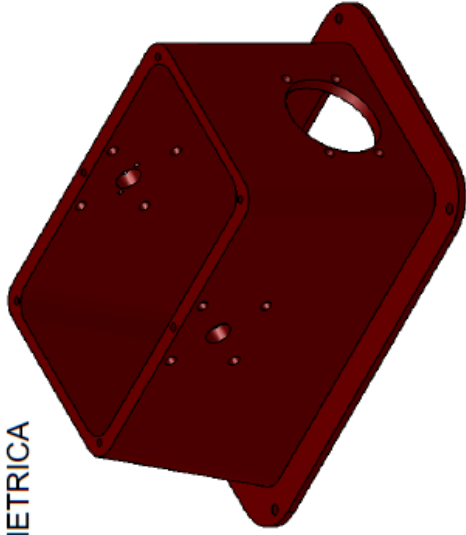


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TITULO	
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		DETALLES CUCHARA	
FECHA: 15/03/2013	PROFESOR: ANDRÉS RAMÍREZ	NORMA: ISO	PROYECTO: 15
DESEO: ESTEBAN VILLALBA, JESÚS MORALES	PROYECTANTE: ANDRÉS RAMÍREZ	ESTAD.:	FECHA:
APROBADO: ANDRÉS RAMÍREZ	PROYECTO: 15	ESTAD.:	FECHA:

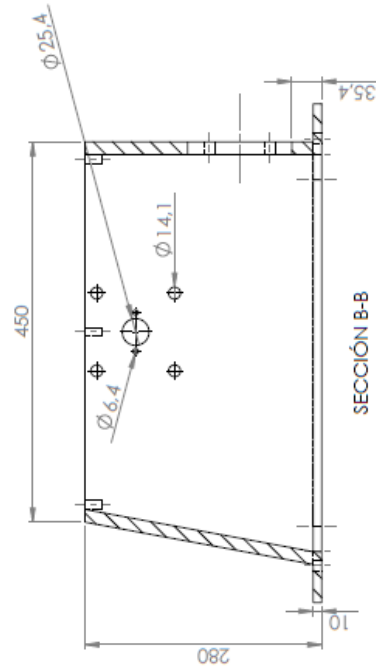
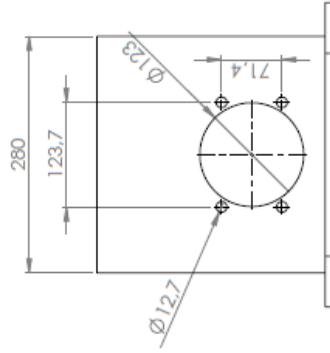
VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMETRICA

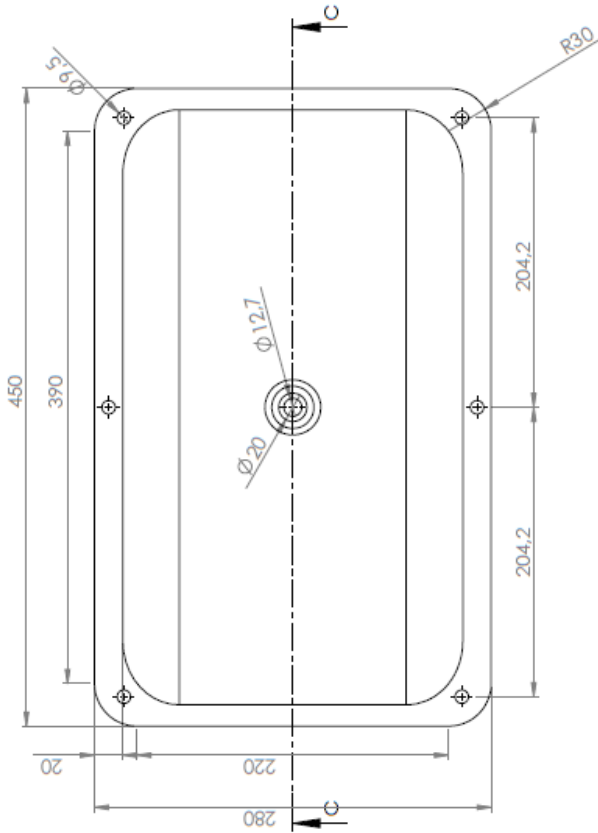


VISTA LATERAL DERECHA

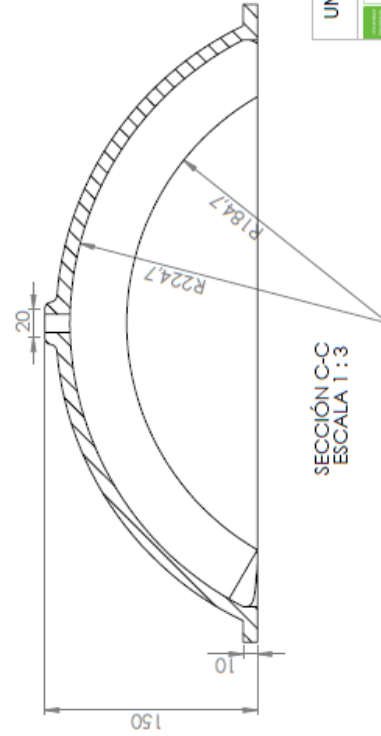
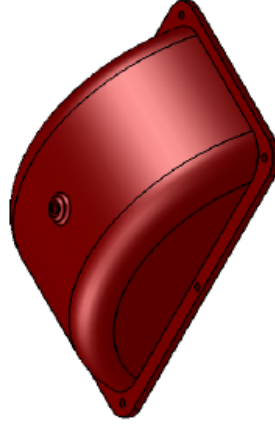


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO		CARCASA DE TURBINA	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO		UNIDADES: mm	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE HIDROELECTRICA DE 3 KW PARA LA TIERRA MARCOLO		MATERIAL: S235JR		COD: 01-0241	
FECHA: 15/03/2013		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FUENTE HIDROELECTRICA DE 3 KW PARA LA TIERRA MARCOLO		FORMATO: A3	
DEBIDO: ESTEBAN VILLALBA - JULIO MORAÑA		MATERIAL: S235JR		COD: 01-0241	
APROBADO: ING. NESTOR RAUL DÍAZ		Peso: 43 kg		PÁGINA 1 DE 1	

VISTA SUPERIOR

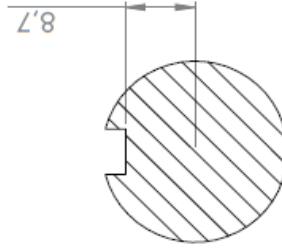
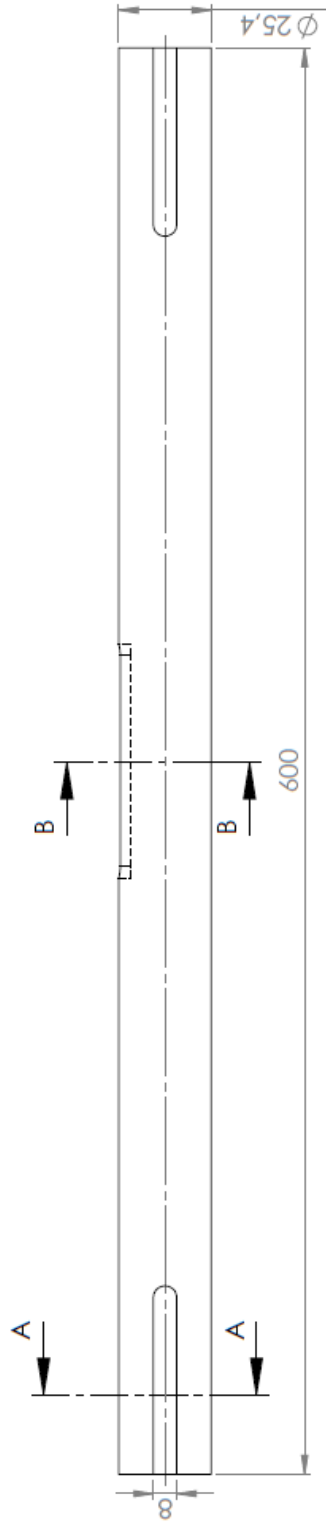


VISTA ISOMETRICA

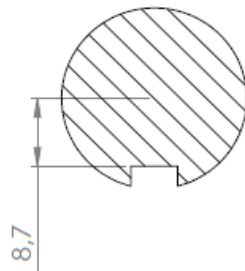


SECCIÓN C-C
ESCALA 1:3

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO		CARCASA DE TURBINA	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO		UNIDADES: mm	
FECHA: 15/03/2013		PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PROCEDIMIENTO DE MONTAJE PARA LA TURBINA MÓDULO		COD: 01-02-02	
DIBUJO: ESTOQUE VELOCAS - JILCO MORAÑA		MATERIAL: Fundido gris		FORMATO: A3	
APROBÓ: ING. NESTOR BAILE D'ARCE		Peso: 11 kg		Escala: 1:3	
				HOJA 1 DE 1	



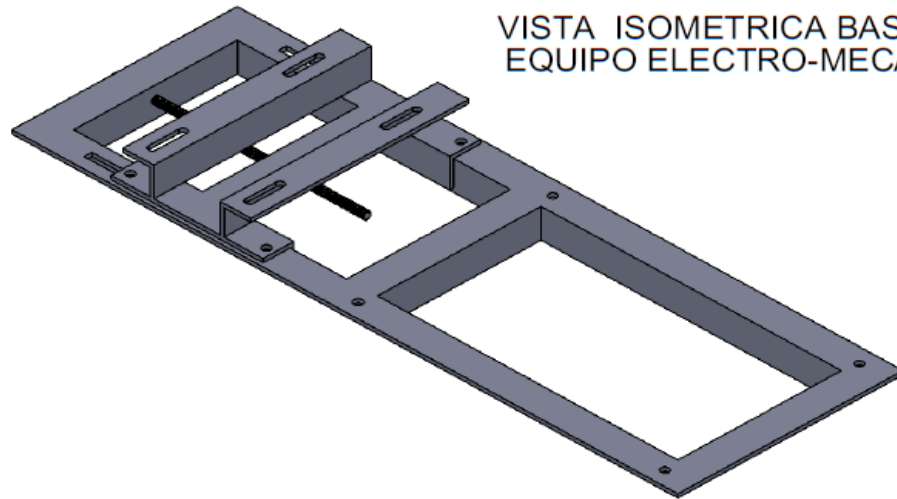
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



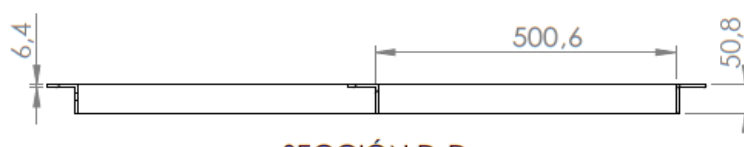
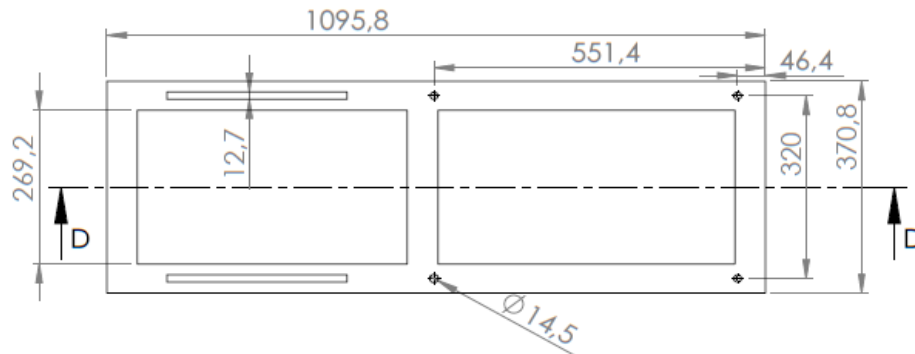
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO:		EJE DE LA TURBINA	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO		UNIDADES: mm	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL: acero-4140		COD : 01-01-02	
FECHA: 15/03/2013	DIBUJÓ: EZEQUIEL VILLEGAS - JULIO MIRANDA	Escala: 1:2		FORMATO: A4	
APROBÓ: ING. NESTOR RAUL D'ARCOZ	Peso: 2.1 kg	HOJA 1 DE 1			

VISTA ISOMETRICA BASTIDOR EQUIPO ELECTRO-MECANICO



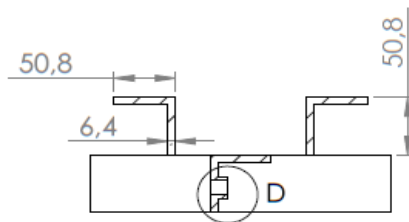
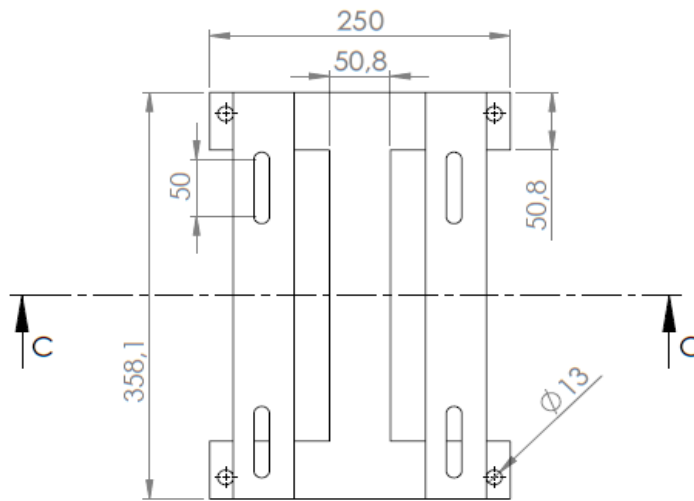
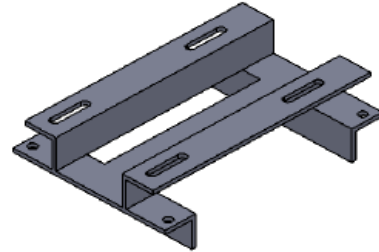
VISTA SUPERIOR BASTIDOR TURBINA



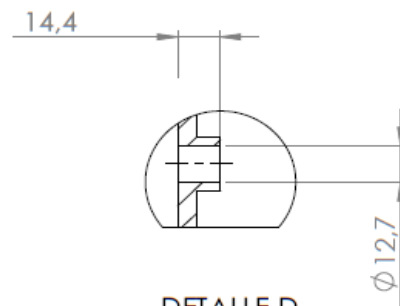
SECCIÓN D-D ESCALA 1 : 10

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			TÍTULO:					
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			BASTIDOR TURBINA					
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:		NORMA:	ISO	UNIDADES:	mm	FORMATO:
DIBUJÓ:	EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MRANDA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL:	acero ASTM A-36	COD :	01-05-01	
APROBÓ:	ING. NESTOR RAULD' CROZ	Peso:	6 kg	Escala:	1:10	HOJA 1 DE 1		A4


VISTA ISOMETRICA
BASTIDOR
GENERADOR



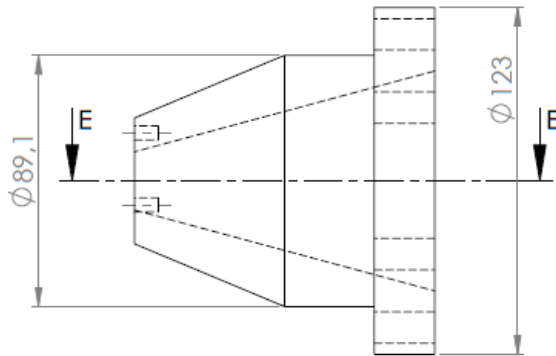
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5



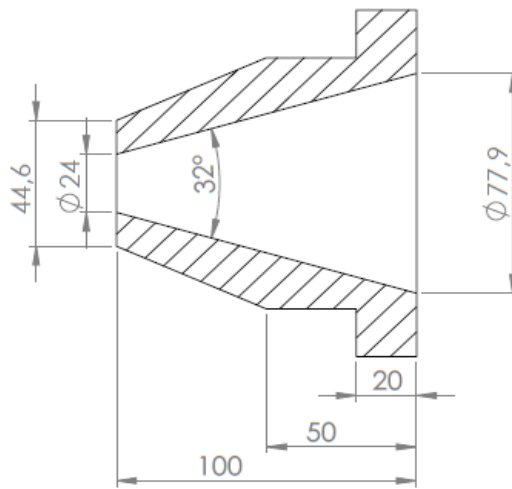
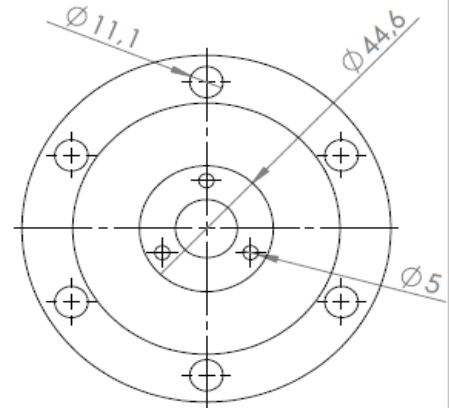
DETALLE D
ESCALA 1 : 2

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: BASTIDOR GENERADOR						
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL		NORMA:	ISO	UNIDADES:	mm	FORMATO:
DIBUJÓ:	EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MRANDA	Peso:	3.5 kg	MATERIAL:	acero ASTM A-36	COD :	01-05-02	A4
APROBÓ:	ING. NESTOR RAUL D' CROZ	Escala:	1:5	HOJA 1 DE 1				

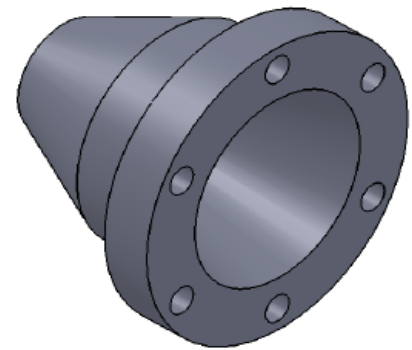
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL IZQUIERDA

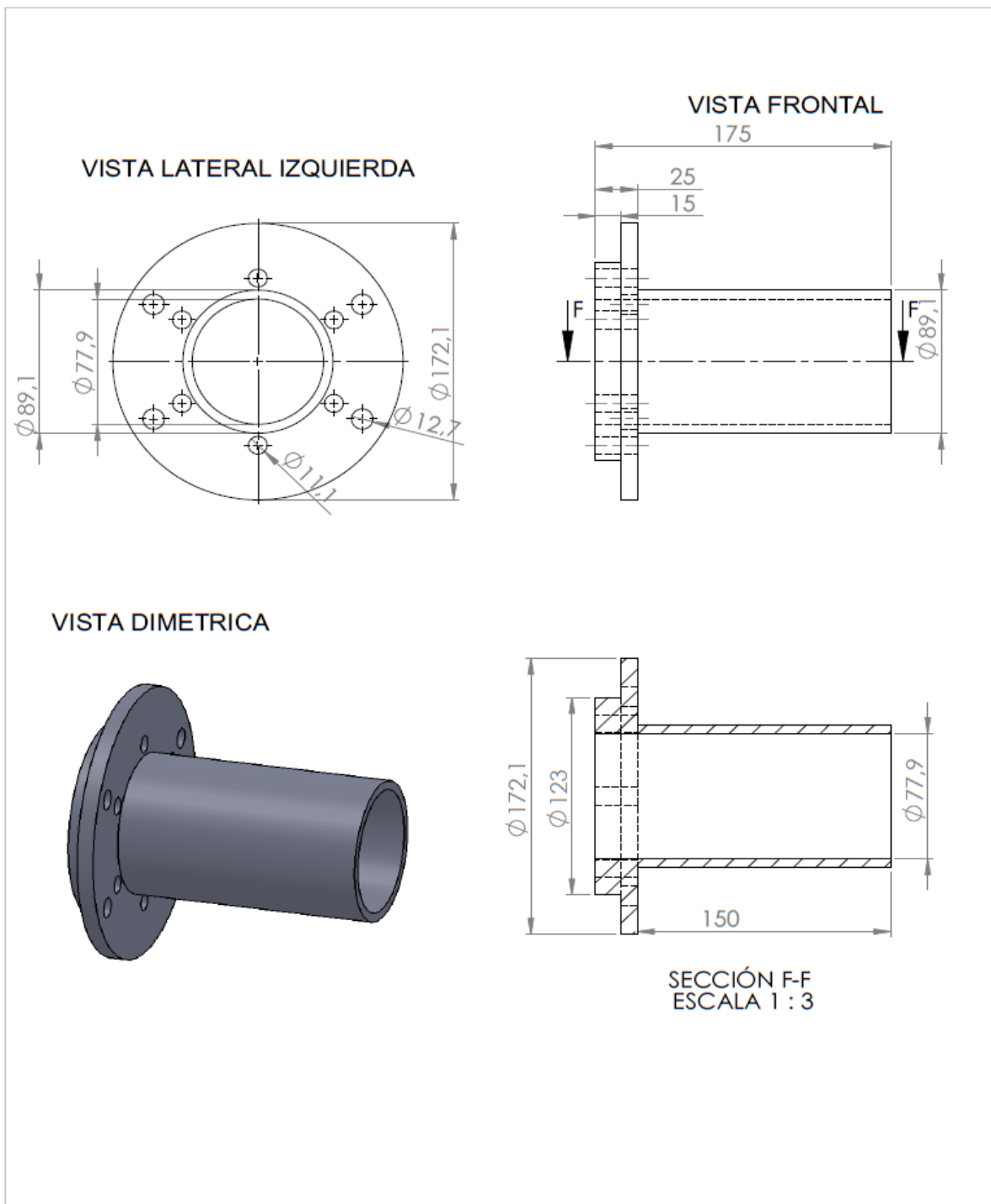


SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 2



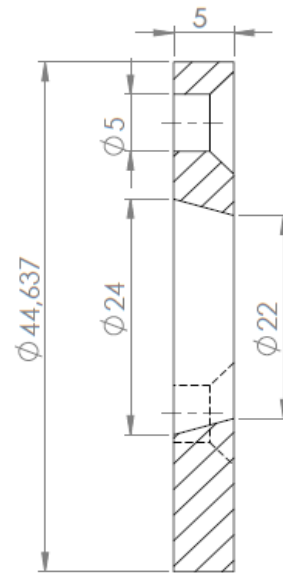
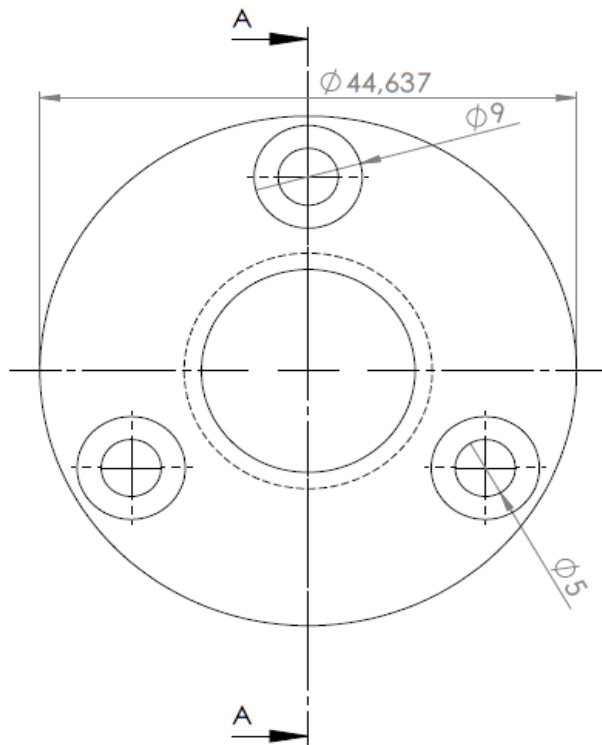
VISTA ISOMETRICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				TÍTULO:			
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				TOBERA DEL INYECTOR			
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:		NORMA:	ISO	UNIDADES:	mm
DIBUJÓ:	EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MIRANDA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL:	FUNDICION GRIS	COD :	01-06-01
APROBÓ:	ING. NESTOR RAULD'CROZ	Peso:	3 kg	Escala:	1:2	FORMATO: A4 HOJA 1 DE 1	



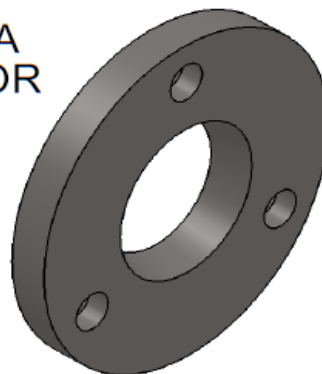
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER				TÍTULO:			
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				PLACA SOPORTE INYECTOR			
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:		NORMA:	ISO	UNIDADES:	mm
DIBUJÓ:	EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MRANDA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL:	FUNDICION GRIS	COD :	01-06-02
APROBÓ:	ING. NESTOR RAUL D'CROZ	Peso:	2 kg	Escala:	1:3	FORMATO: A4	
				HOJA 1 DE 1			

VISTA LATERAL IZQUIERDA

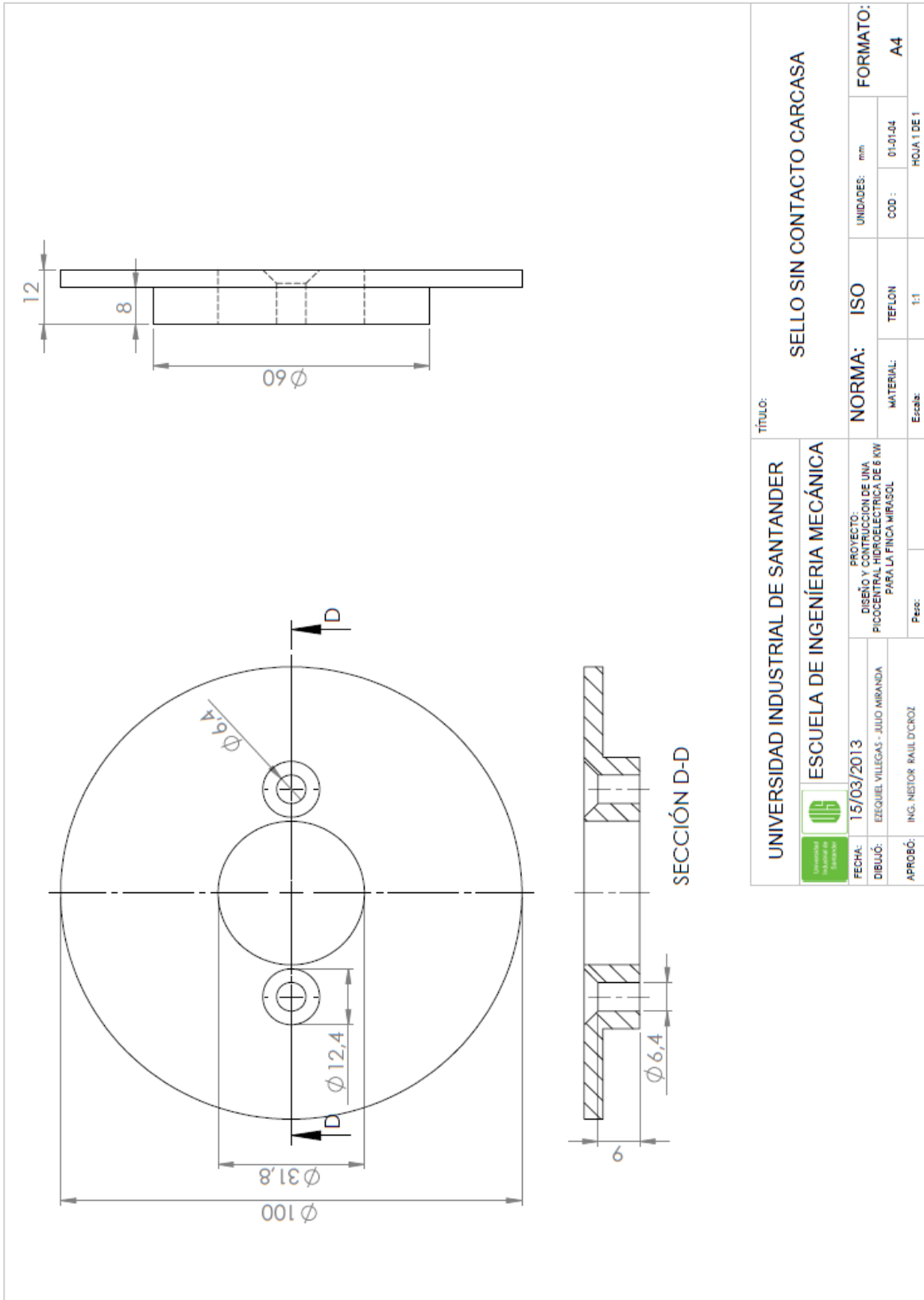


SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

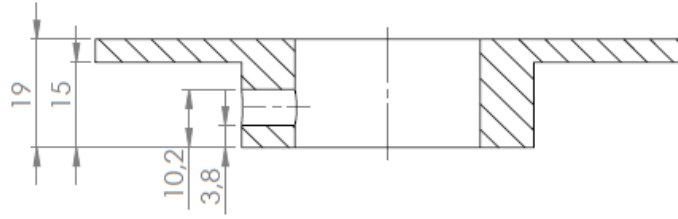
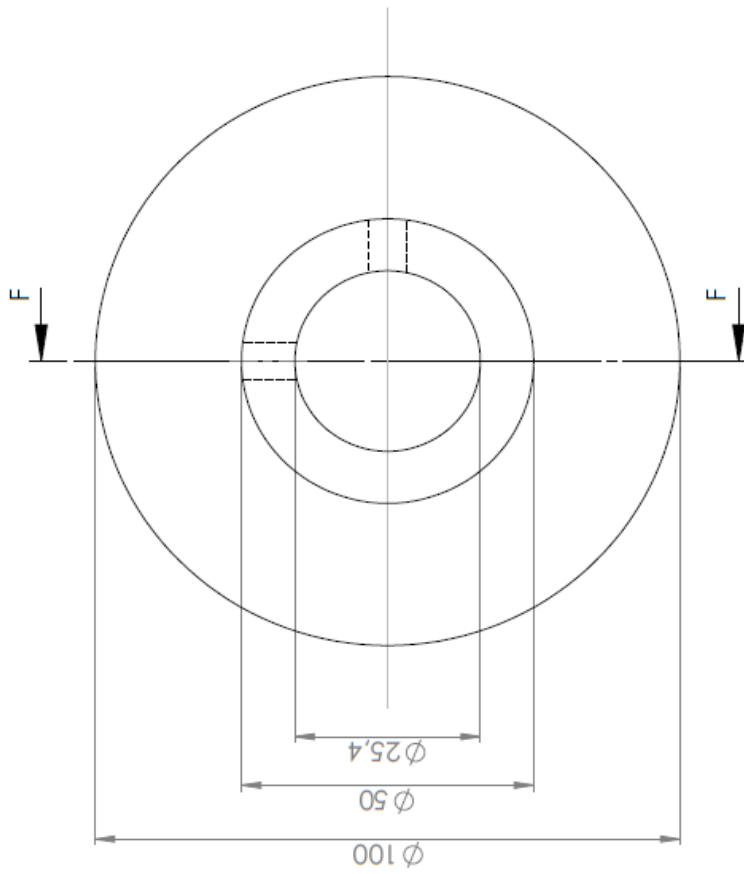
VISTA ISOMETRICA BOQUILLA INYECTOR



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			TÍTULO:				
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			BOQUILLA INYECTOR				
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:	NORMA:	ISO	UNIDADES:	mm	FORMATO:
DIBUJÓ:	EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MRANDA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW PARA LA FINCA MIRASOL	MATERIAL:	AISI 304	COD :	01-06-03	A4
APROBÓ:	ING. NESTOR RAULD' CROZ	Peso:	0.8 kg	Escala:	1:3	HOJA 1 DE 1	

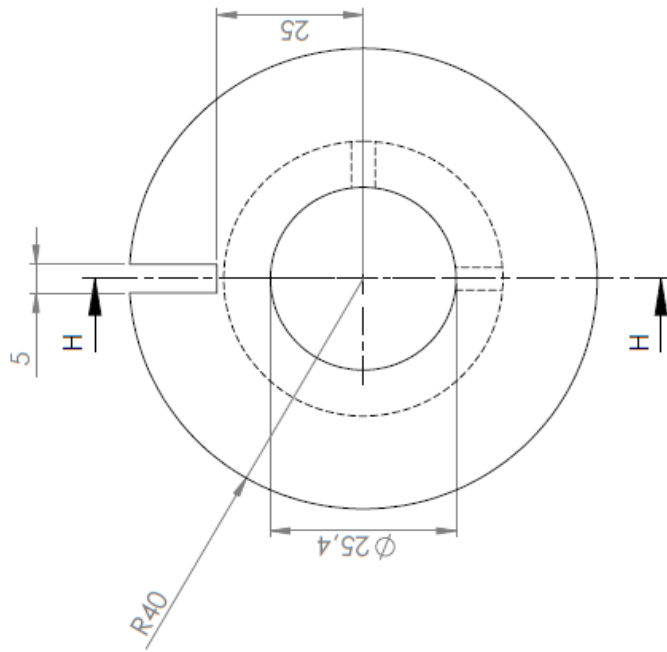


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Título:		SELLO SIN CONTACTO CARCASA	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO		UNIDADES: mm	
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UNA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL POR EFECTO DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL: TEFLON		COD: 01-01-04	
FECHA: 15/03/2013	DIBUJÓ: EZEQUIEL VILLEGAS - JULIO MIRANDA	Escala: 1:1		FORMATO: A4	
APROBÓ: ING. NESTOR RAJIL D'ICROZ	Perz:			HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN F-F

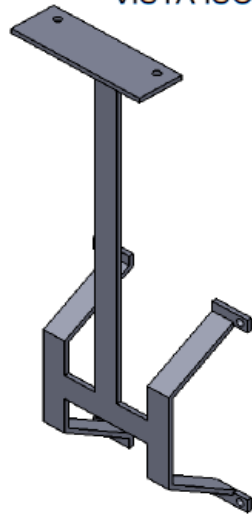
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO:		SELO SIN CONTACTO EJE	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NORMA: ISO		UNIDADES: mm	
FECHA: 15/03/2013		MATERIAL: TEFLON		FORMATO: A4	
DIBUJÓ: EZEQUIEL VILLEGAS - JULIO MIRANDA		Escala: 1:1		COD : 01-01-06	
PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		Peso:		HOJA 1 DE 1	
APROBÓ: ING. NESTOR RAUL D'ARCOZ					



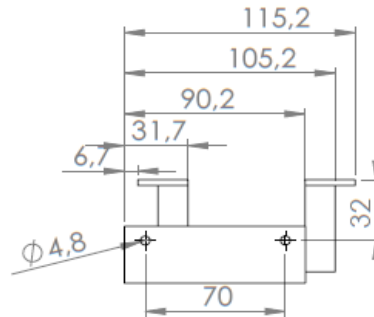
SECCIÓN H-H

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TÍTULO:		DISCO ENCODER	
FECHA:	15/03/2013	PROYECTO:	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		UNIDADES:	mm	FORMATO:
DIBUJÓ:	EZEQUIEL VILLEGAS - JULIO MIRANDA	PROYECTO:	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		MATERIAL:	TEFLON	COD :
APROBÓ:	ING. NESTOR RAUL D'CCROZ	PROYECTO:	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UNA PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 6 KW PARA LA FINCA MIRASOL		ESCALA:	1:1	HOJA 1 DE 1
							A4

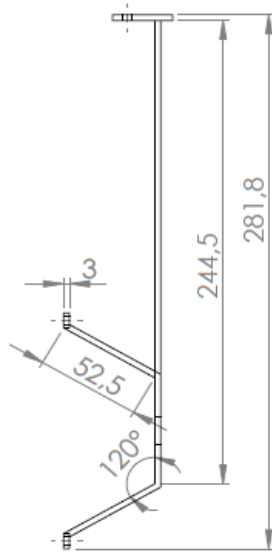
VISTA ISOMETRICA



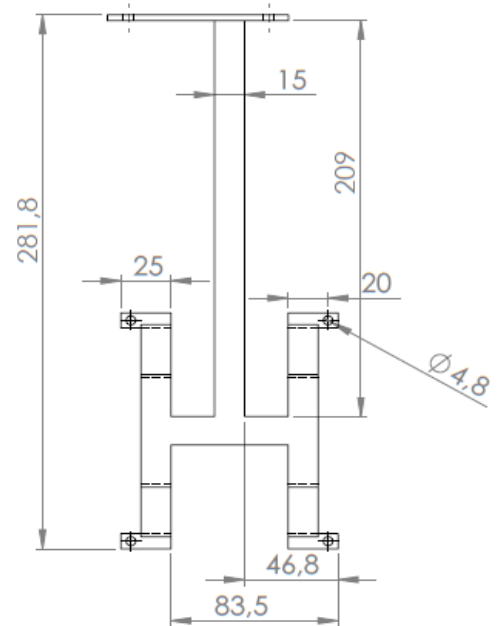
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA FRONTAL



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

TÍTULO:

BASTIDOR MOTOR+VALVULA



ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

FECHA: 15/03/2013
 DIBUJO: EZEQUEL VILLEGAS - JULIO MRANDA
 APROBÓ: ING. NESTOR RAULD'ROZ

PROYECTO:
 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA
 PICOCENTRAL HIDROELECTRICA DE 5 KW
 PARA LA FINCA MIRASOL
 Peso: 0.8 kg

NORMA: ISO
 MATERIAL: acero ASTM A-36
 Escala: 1:3

UNIDADES: mm
 COD : 01-07-03
 HOJA 1 DE 1

FORMATO:
 A4