

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE GRADO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
BOMBAS DE ESPIRAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**DESARROLLADO POR:  
MIGUEL ANDRÉS TERÁN ECHEVERRÍA**

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO TERNEUS  
CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ**

**Sangolquí, 2012 - 02**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE ESPIRAL” fue realizado en su totalidad por el señor Miguel Andrés Terán Echeverría, portador de la cédula 171672564-1, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

-----  
**Ing. Francisco Terneus**  
**DIRECTOR**

-----  
**Ing. Roberto Gutierrez**  
**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2012 – 01- 25**

**LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
BOMBAS DE ESPIRAL”**

**ELABORADO POR:**

---

**Miguel Andrés Terán Echeverría**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**Ing. Xavier Sánchez**

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Sangolquí, 2012 - 02**

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo:

Primeramente a Jehová mi Dios, el “Alfa y la Omega, principio y fin, el que es y que era y que ha de venir, el Todopoderoso” quién fue hecho carne, se entregó, murió, resucitó y pagó la deuda del pecado por mi sin que yo lo merezca, rescatando mi alma y dándole sentido a mi ser, quien por su gracia e infinita misericordia me promete vida eterna, por quien me despierto cada día y recibo muchas bendiciones.

Solo a Dios Jehová sea toda la gloria, toda honra y todo honor frutos del presente trabajo y del título obtenido.

A mi querida madrecita, Marcia Echeverría, quien es una bendición de Dios, quien con su ejemplo supo forjar mi persona y sobre todo me supo guiar por el buen camino de la fe, el de la verdadera libertad.

A mi querida abuelita, Paulina Tejada, quién también es una bendición que Dios me ha proveído, quien en momentos felices así como en momentos difíciles, siempre ha estado junto a mí.

A mi tía Patricia Echeverría quien me ayudó mucho en la vida y la recuerdo con mucho cariño a pesar de la distancia en que vivimos.

A toda mí querida familia quienes son una bendición que Dios me dio.

A la memoria de Carmencita, mi bisabuelita, quién me quiso mucho y yo también la quise y no la olvido.

Y también dedico a la memoria de alguien más, quien, aunque ya no está con nosotros, siempre ocupa un lugar especial en mi corazón y de quien tengo gratos recuerdos de felices e inolvidables momentos y a quien que en su lecho de muerte juré que si Dios me da vida, obtendría este título.

**Miguel Andrés Terán Echeverría**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente a Jehová mi Dios, quién me ha dado la sabiduría del entendimiento de su palabra, la vida, la salud, los recursos y la oportunidad de estudiar y de ser en la vida un profesional.

A mi madre Marcia Echeverría y a mi abuelita Paulina Tejada, quienes me han apoyado siempre en mis ideas y en la construcción de mis sueños.

A mi familia y amigos, quienes me han apoyado y me han dado ánimos y aliento para esforzarme y seguir hasta alcanzar las metas.

A la Escuela Politécnica del Ejército ESPE, y en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica, donde me recibieron y forjé mis conocimientos y me formé como profesional y como persona. De donde me llevo gratos recuerdos que jamás me olvidaré.

A mis maestros, quienes me han trasladado y compartido sus conocimientos y vivencias. A quienes recordaré con inmensa gratitud.

A mis compañeros y amigos de la carrera, con quienes compartí el día a día durante mis estudios y con quienes he pasado gratos e inolvidables momentos.

Al Ing. Francisco Terneus y al Ing. Roberto Gutiérrez, Director y Codirector del presente proyecto respectivamente, quienes me supieron guiar con sus conocimientos y experiencia hasta cumplir los objetivos propuestos.

A Mecánica Industrial Carchi y al Sr. Jaime Rosero de Hierrotecnia, quienes gracias a su colaboración, ha sido posible la construcción del presente proyecto.

A todas esas personas que de una u otra forma me han extendido la mano y me han brindado su ayuda durante el transcurso de estudios de mi carrera.

**Miguel Andrés Terán Echeverría**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |       |
|--|-------|
| CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO | II    |
| LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO                    | III   |
| DEDICATORIA                                  | IV    |
| AGRADECIMIENTO                               | V     |
| INDICE DE CONTENIDOS                         | VI    |
| INDICE DE ECUACIONES                         | V     |
| INDICE DE TABLAS                             | XII   |
| INDICE DE GRAFICAS                           | XIV   |
| INDICE DE FIGURAS                            | XV    |
| INDICE DE ANEXOS                             | XVIII |
| GLOSARIO DE TERMINOS                         | XIX   |
| RESUMEN/ABSTRACT                             | XX    |

### Capítulo I: GENERALIDADES

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Antecedentes                             | 1 |
| 1.2 Definición del problema                  | 4 |
| 1.3 Objetivos                                | 5 |
| 1.3.1 General                                | 5 |
| 1.3.2 Específicos                            | 5 |
| 1.4 Justificación e importancia del Proyecto | 6 |
| 1.5 Alcance del proyecto                     | 8 |

## Capítulo II: MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Bomba   | 10 |
| 2.2 Bomba de Espiral                              | 10 |
| 2.2.1. Partes elementales de una bomba de espiral | 10 |
| 2.2.1.1 Manguera enrollada                        | 11 |
| 2.2.1.2 Espiras                                   | 12 |
| 2.2.1.3 Manguera de descarga                      | 12 |
| 2.2.1.4 Articulación Hidráulica                   | 12 |
| 2.2.1.5 Boca de Entrada                           | 12 |
| 2.2.1.6 Paletas                                   | 13 |
| 2.2.1.7 Radios – Estructura                       | 13 |
| 2.2.1.8 Nivel de agua                             | 13 |
| 2.2.2 Funcionamiento de una bomba de espiral      | 13 |
| 2.2.2.1 Presión hidrostática                      | 14 |
| 2.2.2.2 Empuje de la burbuja de aire (Air lift)   | 16 |
| 2.2.3 Diseño de una bomba de espiral              | 18 |
| 2.2.4 Eficiencia de una bomba de espiral          | 21 |

## Capítulo III: DISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS.

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Diseño de la rueda                             | 23 |
| 3.2 Diseño de la estructura de soporte             | 44 |
| 3.2.1 Materiales utilizados en la estructura       | 44 |
| 3.2.2 Cargas asignadas a estructura                | 45 |
| 3.2.3 Análisis de estructura                       | 46 |
| 3.2.4 Análisis de carga máxima                     | 49 |
| 3.2.5 Carga máxima recomendable para la estructura | 51 |

## **Capítulo IV: CONSTRUCCION DE BANCO DE PRUEBAS.**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1 Desarrollo de Banco de Pruebas</b>    | <b>52</b> |
| 4.1.1 Características del banco de pruebas   | 52        |
| 4.1.2 Construcción de estructura de la rueda | 52        |
| 4.1.3 Construcción de Paletas                | 57        |
| 4.1.4 Construcción de bobinas en espiral     | 59        |
| 4.1.5 Articulación hidráulica                | 63        |
| 4.1.6 Mangueras de descarga                  | 65        |
| 4.1.7 Instrumentación del banco              | 66        |
| 4.1.8 Estructura de soporte del dispositivo  | 66        |

## **Capítulo V: PRUEBAS DE DISPOSITIVO Y ANALISIS DE DATOS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.1 Pruebas del dispositivo</b>                    | <b>69</b> |
| 5.1.1 Pruebas en el río                               | 70        |
| 5.1.2 Pruebas en un tanque con agua                   | 77        |
| <b>5.2 Análisis de datos y curvas características</b> | <b>79</b> |

## **Capítulo VI: ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>6.1 Análisis de costos del presente proyecto</b> | <b>88</b> |
| <b>6.2 Análisis económico de bombas de espiral</b>  | <b>90</b> |

## **Capítulo VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b>7.1 Conclusiones</b>    | <b>96</b>  |
| <b>7.2 Recomendaciones</b> | <b>99</b>  |
| <b>FUENTES DE CONSULTA</b> | <b>100</b> |

## INDICE DE ECUACIONES

|   |                 |
|---|-----------------|
| $P = \rho g h + P_0$  | (2.1) _____ 14  |
| $P = \rho * g (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) + P_0$  | (2.2) _____ 15  |
| $P_1 * V_1 = P_n * V_n$   | (2.3) _____ 16  |
| $\frac{V_L}{A} \sqrt{\frac{48L}{D} \frac{\rho_L}{62,4}} / \log_{10} \left[ \frac{34+s}{34} \right]$ | (2.4) _____ 17  |
| $\frac{V_G}{A} \sqrt{\frac{48 \rho_G}{D_L \rho_L}}$   | (2.5) _____ 17  |
| $D = h_1$   | (2.6) _____ 19  |
| $P_1 = P_{atm} + D$   | (2.7) _____ 19  |
| $P_n = P_{atm} + H$   | (2.8) _____ 19  |
| $V_1 = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * D$  | (2.9) _____ 19  |
| $V_n = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * h_n$  | (2.10) _____ 19 |
| $h_n = \frac{(P_{atm} + D) * D}{P_{atm} + H}$   | (2.11) _____ 20 |
| $H = n * \frac{D + h_n}{2}$   | (2.12) _____ 20 |
| $n = \frac{2H}{D + h_n}$  | (2.13) _____ 20 |
| $Eficiencia = \frac{W_{salida}}{W_{entrada}}$   | (2.14) _____ 21 |
| $W_{salida} = \rho * V * H$   | (2.15) _____ 21 |
| $W_{salida} = 8.34 * V * H$   | (2.16) _____ 21 |
| $W_{entrada} = F * distancia$   | (2.17) _____ 21 |
| $W_{entrada} = F * \pi * Rev * D$   | (2.18) _____ 21 |

|                           |        |    |
|---------------------------|--------|----|
| $F = \rho * Q * \Delta v$ | (2.19) | 22 |
| $\Delta v = v_2 - v_1$    | (2.20) | 22 |
| $F = \rho * Q * v$        | (2.21) | 22 |
| $v = \omega * r$          | (2.22) | 22 |
| $Q = \frac{V}{t}$         | (5.1)  | 70 |

## INDICE DE TABLAS

|                  |  |           |
|------------------|--|-----------|
| <b>Tabla 3.1</b> | <b>Propiedades del acero 1018</b>  | <b>38</b> |
| <b>Tabla 3.2</b> | <b>Tabla de capacidades de carga del eje</b>   | <b>43</b> |
| <b>Tabla 3.3</b> | <b>Materiales utilizados en la estructura</b>  | <b>44</b> |
| <b>Tabla 3.4</b> | <b>Detalle de las cargas asignadas</b>   | <b>46</b> |
| <b>Tabla 3.5</b> | <b>Detalle de carga máxima recomendable de estructura</b>  | <b>51</b> |
| <b>Tabla 5.1</b> | <b>Tabla de datos variando el porcentaje de sumergido</b>  | <b>74</b> |
| <b>Tabla 5.2</b> | <b>Datos tomados variando numero de espiras y diámetros de tuberías de espiral y descarga</b>  | <b>76</b> |
| <b>Tabla 5.3</b> | <b>Datos tomados en pruebas en tanque de agua</b>  | <b>79</b> |
| <b>Tabla 5.4</b> | <b>Calculo de caudal con datos de las primeras pruebas</b>   | <b>80</b> |
| <b>Tabla 5.5</b> | <b>Calculo de caudal con datos de pruebas realizadas variando números de espiras y diámetros de tuberías de espiral y descarga</b>                                   | <b>81</b> |
| <b>Tabla 5.6</b> | <b>Calculo de caudal con datos de pruebas variando la altura H</b>   | <b>83</b> |
| <b>Tabla 5.7</b> | <b>Cálculos de Eficiencia con los datos obtenidos en las pruebas en el río variando el porcentaje del sumergido</b>  | <b>86</b> |
| <b>Tabla 5.8</b> | <b>Cálculos de Eficiencia con los datos tomados en pruebas en el río variando número de espiras y diámetros internos de la manguera del espiral y de la descarga</b> | <b>87</b> |
| <b>Tabla 5.9</b> | <b>Cálculos de Eficiencia con los datos tomados en pruebas en el tanque variando la altura de descarga</b>   | <b>87</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tabla 6.1 Costos totales del proyecto</b>   | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 6.2 Costos estimados de una bomba de similar magnitud y calidad a las analizadas en el banco de pruebas</b> | <b>91</b>  |
| <b>Tabla 6.3 Precios de bombas eléctricas utilizadas en este análisis</b>  | <b>92</b>  |
| <b>Tabla 6.4 Consumo mensual y anual de bombas eléctricas</b>  | <b>92</b>  |
| <b>Tabla 6.5 Costos estimados de accesorios y adicionales necesarios para las bombas eléctricas</b>                  | <b>93</b>  |
| <b>Tabla 6.6 Detalle de costos totales mensuales de cada bomba</b>   | <b>94</b>  |
| <br>   |            |
| <b>Tabla A1.1 Variables y rangos de graduación de banco de pruebas</b>   | <b>106</b> |

## INDICE DE GRAFICAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Grafica. 2.1 Grafica curva de Zenz de flujo agua – aire [5]</b>  | <b>17</b> |
| <b>Grafica 5.1 Velocidad de giro – Caudal</b>   | <b>81</b> |
| <b>Grafica 5.2 Relación entre número de espiras – Caudal</b>  | <b>82</b> |
| <b>Grafica 5.3 Relación d Descarga – Caudal</b>   | <b>82</b> |
| <b>Grafica 5.4 Curva altura – Caudal</b>  | <b>84</b> |
| <b>Grafica 6.1 Relación Costos – Tiempo de vida útil en la que se observan los puntos de equilibrio de rentabilidad de las bombas</b> | <b>95</b> |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1.1 Bomba de espiral - Fuente: The Spiral Pump, Peter Tailer, USA                                | 2  |
| Fig. 1.2 Bomba de espiral plana   | 3  |
| Fig. 1.3 Bomba de espiral en pruebas realizadas en el río Pita el día 20/10/2010                      | 3  |
| Fig. 2.1 Partes elementales de una bomba de espiral   | 11 |
| Fig. 2.2 Análisis de presión de Bombas de espiral   | 15 |
| Fig. 3.1 Diagrama de cuerpo libre del eje   | 31 |
| Fig. 3.2 Geometría de la flecha   | 32 |
| Fig. 3.3 Diagrama de esfuerzo cortante plano yz   | 33 |
| Fig. 3.4 Diagrama de momento flector plano yz   | 34 |
| Fig. 3.5 Diagrama de torque   | 35 |
| Fig. 3.6 Diagrama de esfuerzo cortante plano xz   | 36 |
| Fig. 3.7 Diagrama de momento flector, plano xz  | 37 |
| Fig. 3.8 Diagrama de torque   | 37 |
| Fig. 3.9 Sección con esfuerzos $m$ y $a$  | 40 |
| Fig. 3.10 Sección con esfuerzos equivalentes  | 40 |
| Fig. 3.11 Vista 3D en SAP de estructura asignada los materiales                                       | 44 |
| Fig. 3.12 Ingreso de dimensiones de secciones de elementos  | 45 |
| Fig. 3.13 Ingreso de propiedades de cargas  | 45 |
| Fig. 3.14 Análisis de la demanda capacidad  | 46 |
| Fig. 3.15 Resumen resultante de análisis de estructura  | 47 |
| Fig. 3.16 Reacciones resultantes de análisis de estructura  | 48 |
| Fig. 3.17 Análisis de Demanda Capacidad con una segunda rueda articulada a la existente               | 49 |
| Fig. 3.18 Análisis de Demanda Capacidad con una segunda rueda colocada del otro lado de la estructura | 50 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Fig. 4.1 Fotografías de eje y placas utilizadas en la rueda.</b>  | <b>53</b> |
| <b>Fig. 4.2 Fotografías de chaveta, manzana y prisionero a colocarse en eje junto con las placas</b>   | <b>54</b> |
| <b>Fig. 4.3 Fotografías de placas agujereadas y colocadas correctamente en el eje</b>  | <b>55</b> |
| <b>Fig. 4.4 Fotografías de los radios de madera colorado cortados, y durante el proceso de taladrado de los agujeros</b>                               | <b>55</b> |
| <b>Fig. 4.5 Fotografías de ensamblaje de la rueda de soporte</b>   | <b>56</b> |
| <b>Fig. 4.6 Fotografías de estructura de rueda ensamblada</b>  | <b>57</b> |
| <b>Fig. 4.7 Fotografías de chumaceras a utilizarse para el giro</b>  | <b>57</b> |
| <b>Fig. 4.8 Fotografías de preparación y colocación de paletas</b>   | <b>58</b> |
| <b>Fig. 4.9 Fotografías de mangueras de polietileno de <math>\frac{3}{4}</math>" y de 1" utilizadas para las espiras</b>                               | <b>59</b> |
| <b>Fig. 4.10 Fotografías de inicio de espiralado de la manguera</b>  | <b>59</b> |
| <b>Fig. 4.11 Fotografía de sujeción de la primera espira con alambre galvanizado que envuelve la manguera con el radio y a un perno de las paletas</b> | <b>60</b> |
| <b>Fig. 4.12 Fotografía de tiras plásticas de amarre</b>   | <b>60</b> |
| <b>Fig. 4.13 Fotografías de colocado de espiral manguera de 1"</b>   | <b>61</b> |
| <b>Fig. 4.14 Fotografías de colocado de espiral manguera <math>\frac{3}{4}</math>"</b>   | <b>61</b> |
| <b>Fig. 4.15 Fotografía de bocas de entrada de agua a espira</b>   | <b>62</b> |
| <b>Fig. 4.16 Fotografía de válvulas de las espiras y unión</b>   | <b>62</b> |
| <b>Fig. 4.17 Fotografía de boca de entrada para 9 espiras en espiral de <math>\frac{3}{4}</math>"</b>  | <b>63</b> |
| <b>Fig. 4.18 Fotografías de acople articulación hidráulico y elementos de sujeción montado en el banco de pruebas</b>                                  | <b>65</b> |
| <b>Fig. 4.19 Fotografías de estructura de soporte sujetando la rueda de Espiral</b>  | <b>68</b> |
| <br>   |           |
| <b>Fig. 5.1 Fotografía de Caneca de 20 litros utilizada para medir el caudal</b>   | <b>69</b> |
| <b>Fig. 5.2 Fotografía de transporte de dispositivo desarmado</b>  | <b>71</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Fig. 5.3 Fotografías de armado de banco de pruebas en el río</b>  | <b>71</b>  |
| <b>Fig. 5.4 Fotografías de pruebas con el banco en el río</b>  | <b>72</b>  |
| <b>Fig. 5.5 Fotografía del Director del proyecto Ing. Franciso Terneus, junto al banco de pruebas trabajando en el río</b> | <b>73</b>  |
| <b>Fig. 5.6 Fotografías de pruebas con tanque en las instalaciones de la ESPE</b>  | <b>78</b>  |
| <br>   |            |
| <b>Fig. A1.1 Partes del banco de pruebas</b>   | <b>103</b> |
| <b>Fig. A1.2 Fotografía de articulación hidráulica</b>   | <b>104</b> |

## INDICE DE ANEXOS

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANEXO I: Manual del usuario del banco de pruebas para bombas de espiral</b>                | <b>101</b> |
| <b>ANEXO II: Planos de despiece y construcción de banco de pruebas para bombas de espiral</b> | <b>113</b> |
| <b>ANEXO III: Planos de estructura metálica de soporte</b>                                    | <b>114</b> |

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- $P$  Presión hidrostática (en pascales);
- $\rho$  Densidad del líquido (en kilogramos sobre metro cúbico);
- $g$  Aceleración de la gravedad (en metros sobre segundo al cuadrado);
- $h$  Altura del fluido (en metros).
- Patm Presión atmosférica
- Q: Caudal
- V: Volumen del recipiente a llenarse, volumen de descarga
- T: Tiempo que tarda en llenarse el recipiente.
- n: Numero de espiras
- d Espiras: Diámetro interno de manguera de espiral.
- d Descarga: Diámetro interno de manguera de descarga.
- P: Presión
- t: Tiempo en llenarse recipiente de 20 l (5.28 gal).
- D Diámetro de la primera espira o externa.
- h1 Altura de descarga de la primera espira.
- P1 Presión de la primera espira.
- Pn Presión de la espira n.
- V1 Volumen de la primera espira o externa.
- Vn Volumen de la espira n.
- hn Longitud de descarga de la ultima espira n o diámetro de la ultima espira.
- $\rho$ : Densidad del agua ( 8.34 lib/gal) [9]
- V: Volumen de descarga en galones.
- H: Altura de descarga en pies
- F: Fuerza aplicada a la rueda (lb)
- Rev: Número de revoluciones que da la rueda en un tiempo en descargar un volumen V de agua.
- D: Diámetro de la rueda.
- $\omega$ : Velocidad angular de la rueda en rpm.
- r: Radio distancia en pies desde el centro de la rueda al centro de la paleta que es el lugar medio donde se aplicaría la fuerza .

## RESUMEN / ABSTRACT

El Banco de pruebas para bombas de espiral es un equipo de laboratorio diseñado para evaluar el comportamiento, desempeño y eficiencia de bombas de espiral las mismas que fundamentalmente consisten en una manguera enrollada con paletas de tal manera que al rotar ingresan por la boca tramos de agua y aire; el aire es comprimido con el agua en cada espira y a la salida se obtiene una presión tal que logra elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire airlift.

El equipo está diseñado para que el usuario pueda modificar y graduar fácilmente las diferentes magnitudes y parámetros de diseño de bombas de espiral, para facilitar el estudio de comportamiento de dichas bombas. Dispone de una rueda de grandes dimensiones con el objeto de que al hacer las pruebas arroje resultados confiables y que las tendencias de comportamiento sean apreciables. Además es totalmente desarmable, portable, robusto, duradero y de fácil uso.

The Testing Bench for spiral pumps is a laboratory equipment designed to evaluate the behavior, performance and efficiency of spiral pumps than fundamentally consist in a coiled hose with trowels in such a way that when that rotate, stretches of water and air than enter for the mouth; air is compressed with water in each coil and such that manages to lift the fluid on the way out due two principles: The hydrostatic pressure and the airlift.

This equipment is designed in order that the user can modify and gauging the different magnitudes and designing parameters of spiral pumps easily, to make easy the study of behavior of that pumps. It has a wheel of big dimensions with the object that when doing proofs, he yields reliable results and appreciable behavioral tendencies. Besides it is totally demountable, portable, robust, durable and of easy use.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

La bomba espiral, fue creada en 1746 por H.A. Wirtz, en Zurich - Suiza, quien muy probablemente tomó como referencia el tornillo de Arquímedes y la rueda Persa, dispositivos que no podían levantar el agua más alto que su propia estructura.

A través de la historia este invento, ha tomado distintos nombres tales como: bomba de espiral, bomba de bobina, bomba manométrica, bomba Wirtz, etc.

Según Peter Tailer en su obra "The Spiral Pump", un primer modelo fue patentado en 1904 por Robinson L. y Gaylor J. Además afirma que Peter Morgan del Blair Research Laboratory en Zimbabwe fue probablemente la primera persona en construir una bomba Wirtz luego de que este invento fuese olvidado por más que un siglo, además de haber realizado diversas aplicaciones en varios países en desarrollo.

También Ohlemutz Rudolf de la Universidad de California desde 1975 ha presentado varias aplicaciones de la bomba de espiral.

Este invento consiste fundamentalmente en una manguera enrollada de tal manera que al rotar ingresan por la boca tramos de agua y aire. El aire es comprimido con el agua de cada espira y a la salida se obtiene una presión tal que logra elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire.

La bomba de espiral rota gracias al impulso del agua ya que utiliza la energía cinética de un río o acequia, la cual es una fuente energética limpia, gratuita y abundante en nuestro país.

Este dispositivo, se puede construir muy fácilmente, con materiales comunes y rápidamente accesibles y a un costo muy bajo.

El mantenimiento y la reparación puede ser realizada por personal sin capacitación e incluso puede ser replicado con la simple observación.

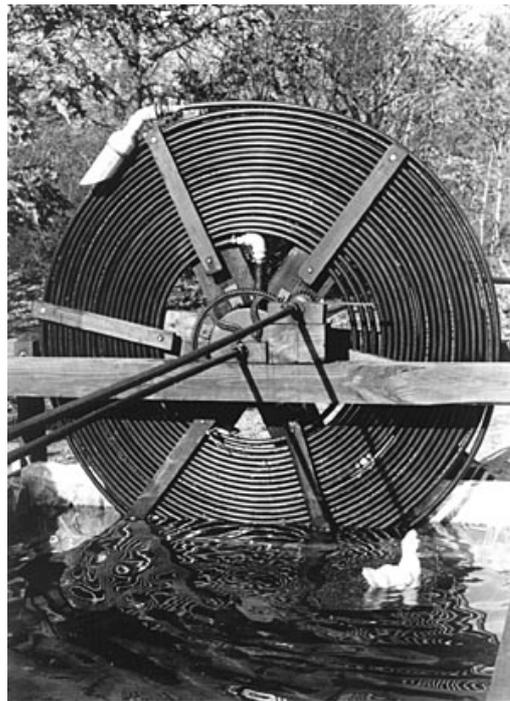


Foto. 1.1 Bomba de espiral

Fuente: The Spiral Pump, Peter Tailer, USA.

Peter Tailer en “The Spiral Pump”, también afirma que en estado del arte se han obtenido alturas de bombeo de hasta 20 metros y caudales de hasta 1500 gal/día, por lo que su desempeño resulta competitivo y con una alta relación costo-beneficio.

Resulta especialmente atractivo para la geografía de la sierra ecuatoriana al ser montañosa, y fundamentalmente agrícola y ganadera

además de poseer una gran riqueza hidrográfica en donde los ríos pasan por quebradas profundas.

En el Departamento de Energía y Mecánica de la ESPE, se han construido algunos prototipos de bombas de espiral como los presentados en las fotografías 1.2 y 1.3 presentadas a continuación, a los que se les ha probado en ríos y quebradillas aledañas a las instalaciones de la institución, dando diferentes resultados en cuanto a eficiencia y desempeño; registrándose su estado del arte, una altura de hasta 22 m, con presiones manométricas de 1.5 bar – experimental y de 1.43 bar – teórica



Fig. 1.2 Bomba de espiral plana



Fig. 1.3 Bomba de espiral en pruebas realizadas en el río Pita el 20/10/2010

## 1.2 Definición del problema

A nivel mundial los actuales recursos tanto energéticos como hídricos son limitados y la mayoría de ellos no son renovables.

A pesar de que en nuestro país tenemos una riqueza hidrográfica, ésta no ha sido debidamente aprovechada ni responsablemente explotada; siendo este recurso escaso en muchos lugares, especialmente montañosos, en donde debido a dichas limitaciones geográficas se ha encarecido los costos operativos para los sectores agrícola y ganadero al tener que utilizar bombas eléctricas o con motores de combustión para movilizar el agua sea para riego o para el ganado, al encontrarse los terrenos en alturas superiores a las que se encuentran los ríos y canales de riego en el campo agrícola y ganadero e incluso en muchos casos, los mismos terrenos tienen algunos grados de pendiente. En nuestro país casi no existen proyectos de investigación enfocados a dar una solución a la mencionada necesidad.

La bomba en espiral es un dispositivo autosustentable que utiliza la energía cinética del río para girar y funcionar transportando agua varios metros incluso a terrenos más altos que el río o canal de agua, por lo que debería ser profundamente investigado y estudiado su comportamiento con la intención de optimizarlo.

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, carece de un banco de pruebas o un dispositivo en el que se pueda investigar este tipo de bombas tan importantes, económicas y prácticas para los sectores agrícola, ganadero e incluso el productivo de nuestro país

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Diseñar y construir un banco de pruebas y evaluación del comportamiento, desempeño y eficiencia de bombas de espiral.

#### **1.3.2 Específicos**

- ✓ Diseñar y construir un equipo de laboratorio desarmable, durable, liviano, de bajo costo y de fácil uso en el que se pueda modificar y graduar experimentalmente diferentes magnitudes y parámetros de diseño de bombas de espiral.
  
- ✓ Dotar al Laboratorio de Energías Renovables un equipo con fines experimentales, didácticos y pedagógicos; que evalúe el comportamiento y desempeño de bombas de espiral, contribuyendo a la excelencia académica y al desarrollo físico de la institución.
  
- ✓ Proveer un instrumento experimental en el que se demuestren fundamentos teóricos sobre bombas en espiral y mediante pruebas se llegue a conclusiones y recomendaciones validas para un óptimo diseño de las mencionadas bombas.
  
- ✓ Establecer criterios y parámetros de diseño de bombas en espiral mediante el uso del equipo banco de pruebas a construirse.
  
- ✓ Establecer parámetros de uso del equipo a construirse con fines experimentales y pedagógicos, determinando rangos de variación de magnitudes y tabulando la incidencia de los mismos en el desempeño de la bomba de espiral.

## 1.4 Justificación e importancia del Proyecto

La necesidad de la energía a nivel mundial es tan evidente que referirse a ello constituye un tópico de amplia discusión. Su empleo es indispensable y generalizado en todas las actividades humanas. Los actuales recursos energéticos son limitados, aunque parezcan abundantes y que desde el punto de vista económico son bienes escasos y, por tanto, su uso debe ser racional, evitándose el despilfarro y el deficiente uso en actividades donde se puede emplear dispositivos sencillos, económicos y que usen energía renovable como es el caso de la bomba de espiral que nos sirve para la extracción de agua con varios fines en diversos campos como son la agricultura, piscicultura, ganadería y en determinados procesos industriales.

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. Estudios de la FAO, estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego. Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.

Lo descrito anteriormente, nos indica claramente que la investigación de nuevas fuentes de energía, así como un manejo responsable de recursos hídricos, es vital para el bienestar del ser humano y de la subsistencia de la economía mundial; Esta realidad debe ser más atendida por estudiantes, docentes e investigadores de la rama de la energía por lo que el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la ESPE debe apuntar a la investigación y desarrollo de fuentes de extracción y usufructo de energía, involucrando a todo su capital humano. Un gran ejemplo de aprovechamiento de energía renovable y limpia representa la bomba de

espiral, a más de ser una solución simple y económica para el manejo de agua con fines agrícolas y productivos.

Por ello la necesidad imperiosa del presente proyecto, ya que a más de ser un aporte científico y técnico, dota al laboratorio de la institución de un banco de pruebas con fines experimentales, didácticos y pedagógicos, que evalúe el comportamiento y desempeño de bombas de espiral, contribuyendo a la excelencia académica y al desarrollo físico de la ESPE.

Dispositivo sencillo y funcional que facilita la regulación de la mayor cantidad posible de magnitudes y parámetros que varíen el desempeño de dichas bombas, demostrando fundamentos teóricos y obteniendo criterios y parámetros validos hacia un óptimo diseño de este tipo de bombas.

El presente proyecto, es de mucha importancia tanto para la formación de los estudiantes, investigadores y docentes del Departamento de la Energía y Mecánica de la ESPE como para la sociedad, ya que contribuye en la investigación y desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de energía.

Básicamente, el presente proyecto tiene impacto directo en los campos científico experimental y productivo tanto para los docentes, investigadores y estudiantes de la institución como para la sociedad.

Impacto en el campo científico y experimental porque facilita la investigación, genera destreza con un alto impacto pedagógico en estudiantes, investigadores y docentes al ser ellos quienes manipulan el dispositivo, analizan didácticamente los diferentes comportamientos producidos al variar magnitudes y estudian criterios de diseño óptimo orientados a incrementar la eficiencia de estas bombas de gran utilidad. Adicionalmente esto estimula la creatividad.

Promete un potencial impacto en el campo productivo por el hecho de abaratar los costos de extracción y movimiento de agua y por lo tanto el

beneficio se puede extender a cualquier rama del sector agrícola, piscícola, ganadero y productivo del país. Adicionalmente esta tecnología puede ser multiplicada fácilmente al ser estas bombas muy fáciles de construir y replicar. De manera especial, estas bombas pueden ser utilizadas especialmente para aplicaciones de riego incrementando significativamente la producción agrícola.

Es factible la ejecución e implementación del presente proyecto, debido a la importancia descrita, y a la evidente necesidad de su aporte científico así como la necesidad de este dispositivo en el Laboratorio de Energías Renovables de la ESPE.

Además este proyecto está totalmente sustentado con argumentos técnicos y conocimientos adquiridos al estudiar la Carrera de Ingeniería Mecánica.

### **1.5 Alcance del proyecto**

Diseñar y construir un banco de pruebas para bombas de espiral, con fines experimentales, didácticos y pedagógicos, que sea desarmable, trasladable, durable, y de de fácil uso; en el que se pueda evaluar el desempeño y la eficiencia de bombas de espiral modificando y graduando las siguientes magnitudes:

Diámetro de manguera enrollada, diámetro de manguera de descarga, radio de rueda, porcentaje sumergido, número de espiras, boca de entrada y número de paletas. Con el propósito de variar el comportamiento y la eficiencia de dichas bombas, demostrando fundamentos teóricos y obteniendo criterios y parámetros validos para un óptimo diseño de bombas en espiral. Este equipo será donado al laboratorio de Energías Renovables contribuyendo a la excelencia académica y al desarrollo físico de la ESPE.

El equipo está diseñado para que el usuario pueda modificar y graduar fácilmente las diferentes magnitudes y parámetros de diseño de bombas de espiral, para facilitar el estudio y comportamiento de dichas bombas. Dispone de diez combinaciones diferentes de magnitudes combinadas utilizando mangueras de 1" y de  $\frac{3}{4}$ " con varias opciones de ajuste y con proyección a futuro de ampliar estas posibilidades a muchas más.

Está diseñado para ser usado tanto en fuentes naturales de agua como ríos, acequias, canales de riego, etc. Como también para ser usado con un tanque con agua.

## **CAPITULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Bomba.**

Una bomba es un dispositivo que sirve para transferir, elevar o comprimir líquidos y gases. [1]

#### **2.2. Bomba de Espiral**

Una bomba de Espiral es un dispositivo útil para transferir agua desde una acequia, río o vertiente hasta un determinado sitio cercano. Este invento consiste fundamentalmente en una manguera enrollada de tal manera que al rotar ingresan por la boca de manera alternada tramos de agua y aire. El aire es comprimido con el agua en cada espira y a la salida se obtiene una presión tal que logra elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire.

La bomba de espiral rota gracias al impulso del agua transmitido hacia el dispositivo gracias a sus paletas, de tal manera que utiliza la energía cinética de un río o acequia para funcionar, la cual es una fuente energética limpia y gratuita y no necesita de combustibles fósiles ni energía eléctrica para su funcionamiento.

Cabe recalcar que una vez colocado correctamente el dispositivo, éste tiene un funcionamiento autónomo, sin necesidad de ser impulsado, ni manejado ni operado.

Además este dispositivo, es de construcción muy fácil y económica; y su mantenimiento es muy básico y poco frecuente.

### 2.2.1. Partes elementales de una bomba de espiral.

Anotamos las diferentes partes de una bomba en espiral, las mismas que pueden ser identificadas en la figura 2.1 que se encuentra a continuación:

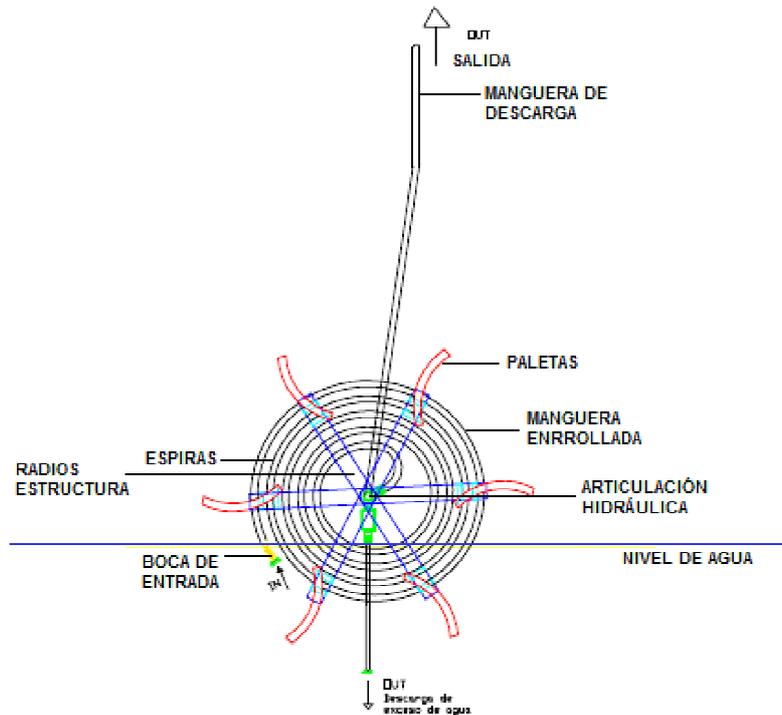


Fig. 2.1 Partes elementales de una bomba de espiral

#### 2.2.1.1 Manguera enrollada

Es el conducto por el cual ingresan agua y aire alternadamente conforme gira el dispositivo. Este se encuentra enrollado formando una rueda de espiras. La espira externa de la rueda está conectada con la boca de entrada y es por ahí donde ingresan al conducto el agua y aire conforme gira la rueda, luego estos fluidos pasan por todo el conducto que se encuentra enrollado hasta llegar a la última espira, la espira interna de la rueda, que está conectada a la articulación hidráulica.

### **2.2.1.2 Espiras**

Están conformadas por cada vuelta de la manguera enrollada en forma de rueda, y son contadas a partir de la vuelta externa de la rueda hasta la interna, cada una tiene un diámetro diferente, siendo mayor el de la primera y el menor el de la última o interna.

### **2.2.1.3 Manguera de descarga**

Es el conducto que transporta el fluido desde la articulación hidráulica en la bomba hacia el destino final donde se desea transportar el agua. Esta manguera, a diferencia de la enrollada, no tiene movimiento y se encuentra fija, tendida en el terreno y con dirección hacia el destino deseado para el agua. La longitud de ésta depende de la dimensión de la bomba y de las características del terreno y del lugar de destino del agua.

### **2.2.1.4 Articulación Hidráulica**

Es un elemento ubicado en el centro de la rueda formada por la manguera enrollada, su función es unir el paso del flujo desde la manguera enrollada que se encuentra girando con la manguera de descarga que se encuentra fija, tendida en el terreno y con dirección hacia el destino final deseado para el agua.

### **2.2.1.5 Boca de Entrada**

Es una abertura por donde ingresan los fluidos de agua y aire alternadamente conforme gira la rueda y se sumerge en el agua. Está conectado al extremo externo de la manguera enrollada y su función es de captar el ingreso del agua y facilitar un óptimo ingreso hacia la manguera. El diámetro de la boca de ingreso debe ser mayor que el de la

manguera y tanto su forma como su longitud pueden variar en función de las características del río, acequia, etc. además de las características de la bomba. Todo en busca de una mayor eficiencia de la bomba.

#### **2.2.1.6 Paletas**

Su función es recibir la fuerza del movimiento del agua del río o acequia para impulsar a la rueda a que gire; es decir, toma la energía cinética del movimiento del agua y la trasfiere a la rueda para que ésta gire. Estas se encuentran distribuidas uniformemente alrededor del borde externo de la rueda y se sumergen al agua conforme gira la rueda. Pueden ser de madera o plástico.

#### **2.2.1.7 Radios – Estructura**

Estos son parte de una estructura de soporte y anclaje de la manguera enrollada cuya única función es sujetar la manguera para que se mantenga enrollada formando una rueda que gira. También a estos radios se pueden sujetar las paletas, articulación hidráulica, etc.

#### **2.2.1.8 Nivel de agua**

Es la línea que forma la superficie del agua del río o acequia. Bajo ésta se sumergirán las paletas ubicadas en la parte inferior de la rueda mientras ésta gira, además de cierto porcentaje de la rueda.

### **2.2.2 Funcionamiento de una bomba de espiral**

Al rotar la bomba en espiral, ingresan por la boca de entrada agua y aire alternadamente, para luego pasar por la manguera enrollada donde el

aire es comprimido con el agua en cada espira conforme gira la rueda y a la salida se obtiene una presión tal que logra elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire.

### 2.2.2.1 Presión hidrostática

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes sobre el fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada presión hidrostática, provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. Esta presión depende de la densidad del líquido en cuestión y de la altura a la que esté sumergido el cuerpo y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho gh + P_0 \quad (2.1)$$

Donde, usando unidades del SI,

$P$  es la presión hidrostática (en pascales);

$\rho$  es la densidad del líquido (en kilogramos sobre metro cúbico);

$g$  es la aceleración de la gravedad (en metros sobre segundo al cuadrado);

$h$  es la altura del fluido (en metros). Un líquido en equilibrio ejerce fuerzas perpendiculares sobre cualquier superficie sumergida en su interior

$P_0$  es la presión atmosférica. [3]

La presión es a su vez proporcional a la profundidad del punto con respecto a la superficie, y es independiente del tamaño o

forma del recipiente. Así, la presión en el fondo de una tubería vertical llena de agua de 1 cm de diámetro y 15 m de altura es la misma que en el fondo de un lago de 15 m de profundidad. [1]  
 A mayor profundidad, la presión será mayor.

Una bomba en espiral se analiza mediante un conjunto de tubos en U conectados como el de la figura 5, donde se aplican todos los principios descritos anteriormente. [6]

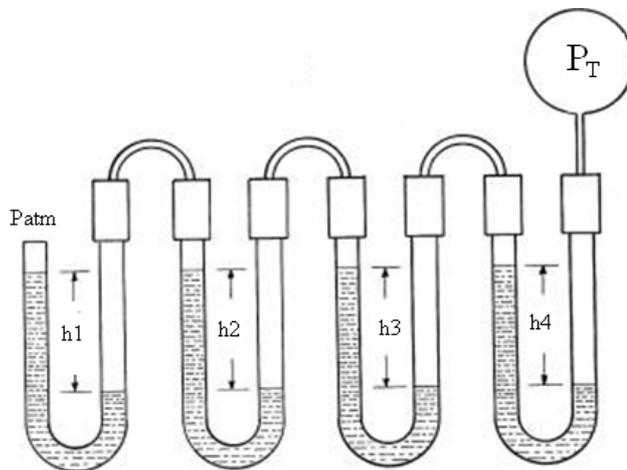


Fig.

## 2.2 Análisis de presión de Bombas de espiral.

Donde la ecuación de la presión sería:

$$P = \rho gh + P_0$$

$$P = \rho g(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) + P_0 \quad (2.2)$$

En cada espira, el volumen de líquido es constante mientras que con la diferencia de altura se aumenta la presión del aire y éste se comprime, reduciéndose su volumen y relacionándose estas magnitudes por la ley de Boyle.

$$P_1 * V_1 = P_n * V_n \quad (2.3)$$

El teorema de Bernoulli implica una relación entre los efectos de la presión, la velocidad y la gravedad, e indica que la velocidad aumenta cuando la presión disminuye. [1]

A bajas velocidades, los fluidos circulan con un movimiento suave llamado laminar, que puede describirse mediante las ecuaciones de Navier-Stokes. A velocidades altas, el movimiento de los fluidos se complica y se hace turbulento.

Cuando circulan por tubos, la transición del movimiento laminar al turbulento depende del diámetro del tubo y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. Cuanto mayores son el diámetro, la velocidad y la densidad, y cuanto menor es la viscosidad, más probable es que el flujo sea turbulento. [1]

#### **2.2.2.2 Empuje de la burbuja de aire (Air lift)**

Es el principio que permite a la bomba crear columnas de agua dentro de cada espira, conforme gira la rueda ingresando aire y agua alternadamente, este mismo fenómeno se da en la tubería se descarga aumentando la altura de elevación. [4]

El aire que se comprime a medida que avanza hacia el centro de la rueda, luego se expande a medida que aumenta la tubería de descarga, produciendo un efecto de elevación en el agua. [4]

Las ecuaciones detalladas a continuación fueron propuestas por F. A. Zenz en 1993 proporcionando una relación para estos parámetros: [5]

Flujo de la bomba (adimensional) [5]

$$\frac{V_L}{A} \sqrt{\frac{48L}{D} \frac{\rho_L}{62,4}} / \log_{10} \left[ \frac{34+S}{34} \right] \quad (2.4)$$

Flujo de aire (adimensional) [5]

$$\frac{V_G}{A} \sqrt{\frac{48 \rho_G}{D_L \rho_L}} \quad (2.5)$$

Donde:

A es el área de la sección [pies cuadrados]

D el diámetro interior de la tubería [plg.]

L es la altura de ascenso [plg.]

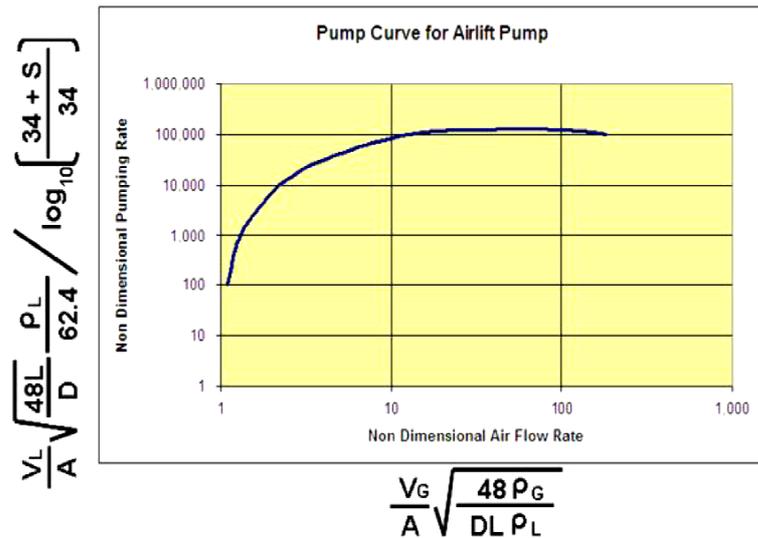
S es el área sumergida [pies]

VG es el flujo de gas [pie3/min]

VL es la densidad del fluido [gal/min]

$\rho_G$  es la densidad del gas [lb/pie3]

$\rho_L$  es la densidad del líquido [lb/pie3]



Grafica. 2.1 Grafica curva de Zenz de flujo agua – aire [5]

### 2.2.3 Diseño de una bomba de espiral.

Un método de obtener el número de espiras aproximado para la construcción de una bomba en espiral ha sido deducido usando la ley de Boyle. [4]

Suponemos que las espiras están representadas como una serie estática de tubos en U interconectados. Cada tubo es dimensionado para ser de igual volumen del agua (asumido para permanecer constante y ser igual a la mitad del volumen total de la primera bobina) por lo tanto el mismo volumen para el aire. Desde que el aire es comprimido, el volumen total de cada respectivo tubo en U decrecería conforme se acerca a la espira interna de la rueda. [4]

Suponemos también que dentro de la primera espira así como en todas las demás espiras, la altura de salida o longitud de descarga producida por cada espira es igual al diámetro de esa espira. [4] Esta dimensión realmente es la medida desde la pared superior de la tubería que se encuentra al pie de la espira, hasta la pared inferior de la tubería encontrada en la parte alta de la espira. [4]

Sin embargo, esta diferencia entre lo asumido y lo real para esta dimensión es despreciable por un margen de error inferior al 5 %. [4]

La presión atmosférica será la presión de la primera espira mas el diámetro de la rueda.

Conocemos el diámetro de la rueda, por lo tanto el volumen de la primera espira y también la longitud de descarga y la presión manométrica requerida en la espira n. Luego determinamos el volumen de la espira n, mediante su longitud de descarga o diámetro de dicha espira. [4] Posteriormente de la relación indicada procedemos a despejar el diámetro de la espira n.

Detalle a continuación:

D Diámetro de la primera espira o externa.

h1 Altura de descarga de la primera espira.

$$D = h1 \quad (2.6)$$

P1 Presión de la primera espira.

Pn Presión de la espira n.

Patm. Presión atmosférica.

H Altura total de descarga

$$P1 = Patm + D \quad (2.7)$$

$$Pn = Patm + H \quad (2.8)$$

d Diámetro interno de la tubería.

V1 Volumen de la primera espira o externa.

Vn Volumen de la espira n.

hn Altura de descarga de la ultima espira n  
o diámetro de la ultima espira n.

$$V1 = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * D \quad (2.9)$$

$$Vn = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * hn \quad (2.10)$$

Partimos de la ley de Boyle:

$$P1 * V1 = Pn * Vn$$

$$(Patm + D) * \left(\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * D\right) = (Patm + H) * \left(\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * hn\right)$$

Se eliminan  $\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2$ , entonces

$$(P_{atm} + D) * D = (P_{atm} + H) * hn$$

$$hn = \frac{(P_{atm}+D)*D}{P_{atm}+H} \quad (2.11)$$

Con el diámetro de la espira  $n$ , el número de espiras puede ser determinado suponiendo que la longitud promedio de descarga entre la primera espira y la espira  $n$ , multiplicado por el número de bobinas le dará la longitud de descarga total. [4]

Al diseñar una bomba espiral, una vez determinado el número de espiras, debe añadirse un 20 %. Esto minimizará los efectos de utilizar cualquier diámetro de tubería y otras variables. [4]

A continuación detalle:

$n$  Número de espiras

Partimos entonces de la estimación:

$$H = n * \frac{D+hn}{2} \quad (2.12)$$

$$n = \frac{2H}{D+hn} \quad (2.13)$$

Al valor de  $n$  hay que añadirle un 20% mas.

Nótese que el diámetro de la tubería fue eliminado de ambos lados de la ecuación; por lo que primeramente se debe calcular el número de espiras como se detalla anteriormente en función de una presión requerida o de una longitud de descarga requerida, para luego proceder a seleccionar el diámetro de tubería mas cómodo para enrollar haciendo la respectiva espiral.

#### 2.2.4 Eficiencia de una bomba de espiral.

Para hallar la eficiencia de una bomba de espiral, partimos de la eficiencia de cualquier máquina que viene dada por la expresión.

$$Eficiencia = \frac{W_{salida}}{W_{entrada}} \quad (2.14)$$

Donde W se refiere a trabajo [4]

El trabajo de salida se expresa mediante la ecuación.

$$W_{salida} = \rho * V * H \quad (2.15)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del agua ( 8.34 lib/gal) [9]

V: Volumen de descarga en galones.

H: Altura de descarga en pies

De manera que  $W_{salida}$  nos queda en libras pie mediante la expresión:

[4]

$$W_{salida} = 8.34 * V * H \quad (2.16)$$

El trabajo de entrada se determina mediante la ecuación:

$$W_{entrada} = F * distancia \quad (2.17)$$

Entonces

$$W_{entrada} = F * \pi * Rev * D \quad (2.18)$$

Donde

F: Fuerza aplicada a la rueda (lb)

Rev: Número de revoluciones que da la rueda en un tiempo en descargar un volumen V de agua.

D: Diámetro de la rueda.

Wentrada también nos quedaría en lb-pie. [4]

La fuerza F nos sale mediante la ecuación: [2]

$$F = \rho * Q * \Delta v \quad (2.19)$$

Conocemos además que:

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad (2.20)$$

Para nuestro caso en particular conocemos que si partiría del reposo, entonces

$v_1=0$ , entonces  $v_2$  sería el valor de  $v$

Entonces

$$F = \rho * Q * v \quad (2.21)$$

Para hallar  $v$  nos basamos en la fórmula: [7] [8]

$$v = \omega * r \quad (2.22)$$

Donde

$\omega$ : Velocidad angular de la rueda en rpm.

$r$ : Radio distancia en pies desde el centro de la rueda al centro de la paleta que es el lugar medio donde se aplicaría la fuerza F.

Para nuestra rueda sería 3.85 pie.

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

#### 3.1 Diseño de la rueda.

##### Cálculo de pesos de las mangueras:

$$\rho_{\text{polietileno}} := 0.95 \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad [14]$$

##### **Manguera de 3/4"**

$$d_i := 1.905 \quad \text{cm.}$$

$$d_e := 1.905 + 0.6 \quad \text{cm.}$$

Volumen de manguera

$$V_1 := \left( \pi \cdot \frac{d_e^2}{4} - \pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \right) \cdot 6800$$

$$V_1 = 1.413 \times 10^4 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de masa

$$m_1 := \rho_{\text{polietileno}} \cdot V_1$$

$$m_1 = 1.342 \times 10^4 \quad \text{g.}$$

$$\underline{m_1} := \frac{m_1}{1000}$$

$$m_1 = 13.425 \quad \text{Kg.}$$

Calculo de peso

$$w_1 := m_1 \cdot 9.81$$

$$w_1 = 131.699 \quad \text{N.}$$

##### **Manguera de 1"**

$$\underline{d_i} := 2.54 \quad \text{cm.}$$

$$\underline{d_e} := d_i + 0.8 \quad \text{cm.}$$

Volumen de manguera

$$V_2 := \left( \pi \cdot \frac{d_e^2}{4} - \pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \right) \cdot 6800$$

$$V_2 = 2.512 \times 10^4 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de masa

$$m2 := \rho_{\text{polietileno}} \cdot V2$$

$$m2 = 2.387 \times 10^4 \quad \text{g.}$$

$$\overset{\text{m2}}{m2} := \frac{m2}{1000}$$

$$m2 = 23.867 \quad \text{Kg.}$$

Calculo de peso

$$w2 := m2 \cdot 9.81$$

$$w2 = 234.131 \quad \text{N.}$$

### Calculo de pesos del agua:

$$\rho_{\text{agua}} := 1$$

[2]

### **Manguera de 3/4"**

$$\overset{\text{di}}{di} := 1.905 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \text{cm.}$$

Volumen de manguera

$$V3 := \left( \pi \cdot \frac{di^2}{4} \right) \cdot 6800$$

$$V3 = 1.938 \times 10^4 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de masa

$$m3 := \rho_{\text{agua}} \cdot V3$$

$$m3 = 1.938 \times 10^4 \quad \text{g.}$$

$$\overset{\text{m3}}{m3} := \frac{m3}{1000}$$

$$m3 = 19.382 \quad \text{Kg.}$$

Calculo de peso

$$w3 := m3 \cdot 9.81$$

$$w3 = 190.133 \quad \text{N.}$$

### Manguera de 1"

$$d_i := 2.54 \quad \text{cm.}$$

Volumen de manguera

$$V_4 := \left( \pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \right) \cdot 6800$$

$$V_4 = 3.446 \times 10^4 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de masa

$$m_4 := \rho_{\text{agua}} \cdot V_4$$

$$m_4 = 3.446 \times 10^4 \quad \text{g.}$$

$$\overline{m_4} := \frac{m_4}{1000}$$

$$m_4 = 34.456 \quad \text{Kg.}$$

Calculo de peso

$$w_4 := m_4 \cdot 9.81$$

$$w_4 = 338.014 \quad \text{N.}$$

### Calculo de peso de los radios

**Madera colorado:**

$$\rho_{\text{colorado}} := 1.03 \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad [15]$$

$$V_5 := 1205 \cdot 3$$

$$V_5 = 1.8 \times 10^3 \quad \text{cm}^3$$

$$m_5 := \rho_{\text{colorado}} \cdot V_5$$

$$m_5 = 1.854 \times 10^3 \quad \text{g.}$$

$$\overline{m_5} := \frac{m_5 \cdot 16}{1000} \quad \text{En total son 16 tablas}$$

$$m_5 = 29.664 \quad \text{Kg.}$$

Calculo del peso

$$w_5 := m_5 \cdot 9.81$$

$$w_5 = 291.004 \quad \text{N.}$$

### Calculo de peso de las paletas

Madera seike:

$$\rho_{\text{seike}} := 0.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad [16]$$

$$V_6 := 30 \cdot 18 \cdot 2$$

$$V_6 = 1.08 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

$$m_6 := \rho_{\text{seike}} \cdot V_6$$

$$m_6 = 604.8 \text{ g}$$

$$\overset{\text{m6}}{m_6} := \frac{m_6}{1000}$$

$$m_6 = 4.838 \text{ Kg}$$

Cálculo del peso

$$w_6 := m_6 \cdot 9.81$$

$$w_6 = 47.465 \text{ N}$$

### Calculo de peso de las placas redondas de acero

$$\rho_{\text{acero}} := 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad [17]$$

Diámetro de las placas:

$$d_p := 30 \text{ cm}$$

$$V_7 := \frac{\pi \cdot (d_p)^2}{4} \cdot 0.75$$

$$V_7 = 558.418 \text{ cm}^3$$

Calculo de masa

$$m_7 := \rho_{\text{acero}} \cdot V_7$$

$$m_7 = 4.384 \times 10^3 \text{ g}$$

$$\overset{\text{m7}}{m_7} := \frac{m_7}{1000}$$

$$m_7 = 13.151 \text{ kg}$$

Cálculo del peso

$$w7 := m7 \cdot 9.81$$

$$w7 = 129.009 \quad \text{N.}$$

### Calculo de peso de las manzanas de acero

Diámetros de la manzana

$$dme := 7.01 \quad \text{cm.}$$

$$dmi := 3.81 \quad \text{cm.}$$

$$V8 := \left[ \frac{\pi \cdot (dme)^2}{4} - \frac{\pi \cdot dmi^2}{4} \right] \cdot 3.125$$
$$V8 = 84.98 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de masa

$$m8 := \rho_{\text{acero}} \cdot V8$$

$$m8 = 667.094 \quad \text{g}$$

$$m8 := \frac{m8 \cdot 2}{1000}$$

$$m8 = 1.334 \quad \text{kg.}$$

Cálculo del peso

$$w8 := m8 \cdot 9.81$$

$$w8 = 13.088 \quad \text{N.}$$

### Calculo de peso de los pernos de acero de 5/8 con sus tuercas

Diámetro de los pernos:

$$dpe := 1.59 \quad \text{cm.}$$

$$V9 := \frac{\pi \cdot (dpe)^2}{4} \cdot 14 + \frac{\pi \cdot 2.4^2}{4} \cdot (1.5 \cdot 2)$$

$$V9 = 41.37 \quad \text{cm}^3$$

### Calculo de masa

$$m9 := \rho_{\text{acero}} \cdot V9$$

$$m9 = 324.751 \quad \text{g}$$

$$\underline{m9} := \frac{m9 \cdot 16}{1000} \quad \text{En total son 16 pernos}$$

$$m9 = 5.196 \quad \text{kg.}$$

### Cálculo del peso

$$w9 := m9 \cdot 9.81$$

$$w9 = 50.973 \quad \text{N.}$$

### Calculo de peso de los pernos de acero de 3/8 con sus tuercas

Diámetro de los pernos:

$$dpe2 := 0.95 \quad \text{cm.}$$

$$V10 := \frac{\pi \cdot (dpe2)^2}{4} \cdot 0.9 + \frac{\pi \cdot 1.43^2}{4} \cdot (0.82)$$

$$V10 = 3.208 \quad \text{cm}^3$$

### Calculo de masa

$$m10 := \rho_{\text{acero}} \cdot V10$$

$$m10 = 25.18 \quad \text{g}$$

$$\underline{m10} := \frac{m10 \cdot 32}{1000} \quad \text{En total son 32 pernos}$$

$$m10 = 0.806 \quad \text{kg.}$$

### Cálculo del peso

$$w10 := m10 \cdot 9.81$$

$$w10 = 7.904 \quad \text{N.}$$

### Calculo del peso del eje

$$\text{deje} := 3.81 \quad \text{cm.}$$

Volumen del eje

$$\text{V eje} := \frac{\pi \cdot \text{deje}^2}{4} \cdot 60$$

$$\text{V eje} = 684.055 \quad \text{cm}^3$$

Calculo de la masa

$$\text{meje} := \rho_{\text{acero}} \cdot \text{V eje}$$

$$\text{meje} = 5.37 \times 10^3 \quad \text{g.}$$

$$\text{meje} := \frac{\text{meje}}{1000}$$

$$\text{meje} = 5.37 \quad \text{Kg}$$

Calculo del peso

$$\text{weje} := \text{meje} \cdot 9.81$$

$$\text{weje} = 52.678 \quad \text{N}$$

### Calculo del peso total que soporta el eje

$$\text{wrueda} := (w1 + w2 + w3 + w4 + w5 + w6 + w7 + w8 + w9 + w10) + \text{weje}$$

$$\text{wrueda} = 1.486 \times 10^3 \quad \text{N}$$

## Diseño del Eje de la Rueda

Caudal máximo de descarga

$$Q := 44 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$
$$Q_{\text{w}} := \frac{Q \cdot 0.13}{60} \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

Velocidad angular de la rueda

$$\omega := 90 \text{ rpm}$$

$$\omega_{\text{w}} := \omega \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Radio medido desde el centro de rueda

$$r := 3.85 \text{ pie}$$

Calculo de velocidad v

$$v := \omega \cdot r$$

$$v = 36.285 \frac{\text{pie}}{\text{s}}$$

$$v2 := v$$

$$v1 := 0$$

$$\Delta v := v2 - v1$$

$$\Delta v = 36.285 \frac{\text{pie}}{\text{s}}$$

Velocidad que rodea los 10 m/s, valor que alcanza un río en épocas de lluvia [18]

Calculo de la fuerza F

$$\rho_{\text{agua}} := 1.94 \frac{\text{lb} \cdot \text{s}^2}{\text{pie}^4}$$

$$F_{\text{w}} := \rho_{\text{agua}} \cdot Q \cdot \Delta v$$

$$F = 6.711 \text{ lb}$$

$$F_{\text{w}} := F \cdot 4.45 \text{ N}$$

$$F = 29.863 \text{ N}$$

Ecuación 16-4 de Mott [2],

Fuerza tangencial

$$F_t := F$$

Fuerza radial

$$F_r := \text{wrueda}$$

D.C.L. del eje:

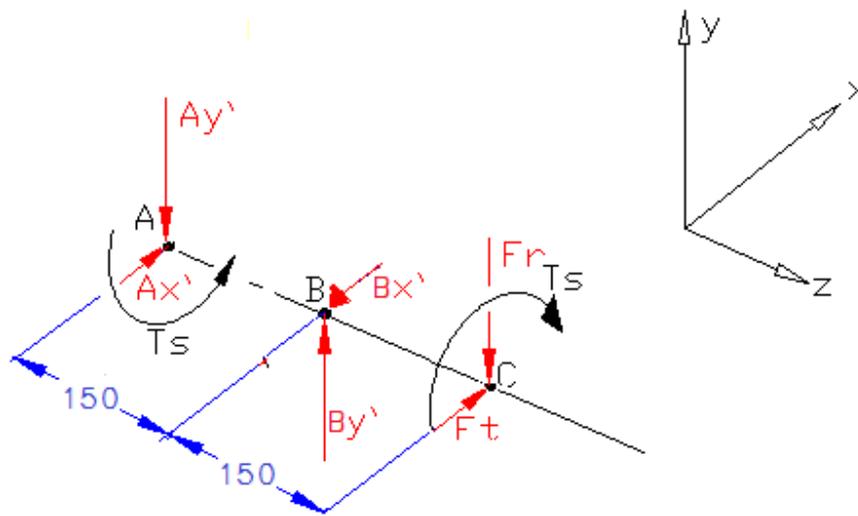


Fig. 3.1 D.C.L del eje

$$C_x := F_t$$

$$C_y := F_r$$

**Plano yz**

$$\Sigma M_A := 0$$

$$B_y := \frac{C_y \cdot 300}{150}$$

$$B_y = 2972.2 \quad (\text{N})$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$A_y := B_y - C_y$$

$$A_y = 1486.1 \quad (\text{N})$$

**Plano xz**

$$\sum M_A := 0$$

$$B_x := \frac{300 C_x}{150}$$

$$B_x = 59.7 \quad (\text{N})$$

$$\sum F_x := 0$$

$$A_x := B_x - C_x$$

$$A_x = 29.9 \quad (\text{N})$$

Calculo de Torque:

$$T_x := 1.25 C_x$$

$$T = 37.329 \quad \text{N m.}$$

Se establece una geometría para la flecha:

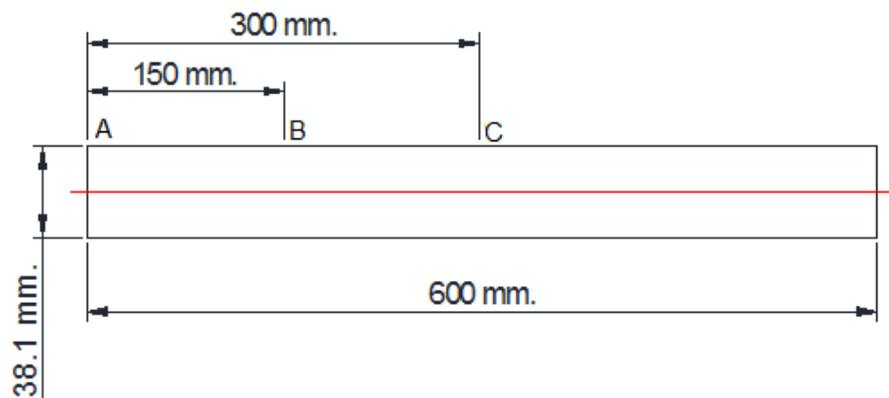


Fig. 3.2 Geometría de la flecha

**Calculo de la resistencia Mecánica del eje**

Los diagramas de fuerza cortante (V), momento flector (M) y torque (T) son los siguientes:

### PLANO YZ

#### Diagrama de fuerza Cortante:

Fórmulas de tabla E9 de Shigley [19]

$$V_{AB} := \frac{-C_y \cdot 0.15}{0.15}$$

$$V_{AB} = -1.486 \times 10^3 \text{ N.}$$

$$V_{BC} := C_y$$

$$V_{BC} = 1.486 \times 10^3 \text{ N.}$$

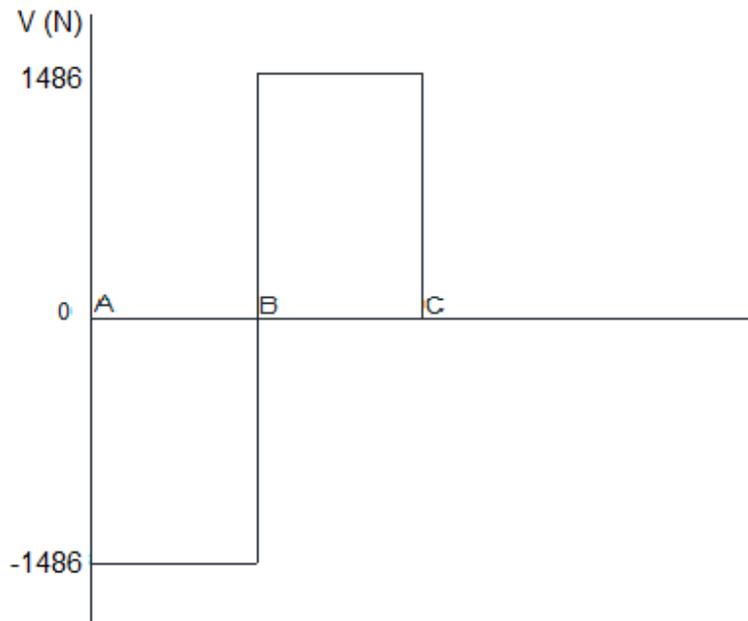


Fig. 3.3 Diagrama de fuerza cortante, plano yz

### Diagrama de Momento Flector

Para el punto B:

Fórmulas de tabla E9 de Shigley [19]

$$M_{AB} := \frac{-C_y \cdot 0.15 \cdot 0.15}{0.15}$$

$$M_{AB} = -222.915$$

$$M_{BC} := C_y \cdot (0.15 - 0.15 - 0.15)$$

$$M_{BC} = -222.915$$

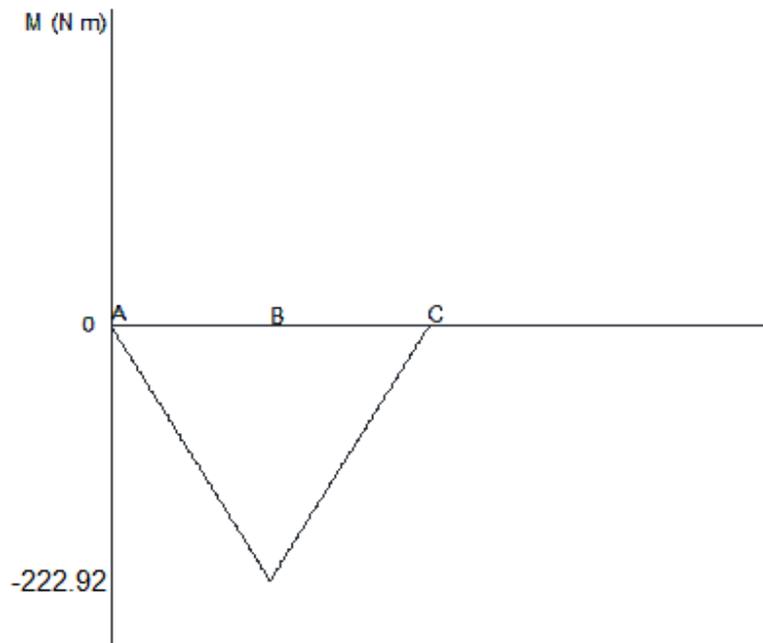


Fig. 3.4 Diagrama de momento flector plano yz

### Diagrama de Torques

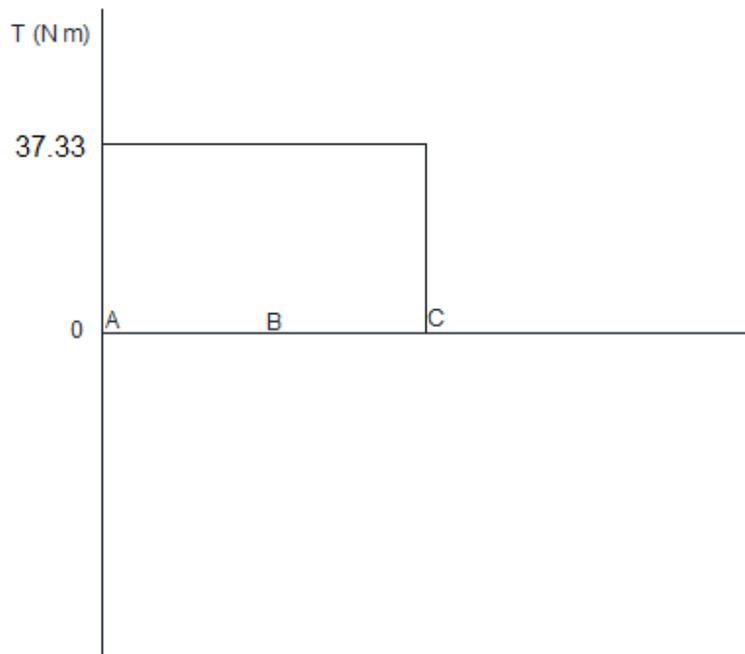


Fig. 3.5 Diagrama se torque

### PLANO XZ

#### Diagrama de fuerza Cortante:

Fórmulas de tabla E9 de Shigley [19]

$$V_{ABxz} = \frac{C_x \cdot 0.15}{0.15}$$

$$V_{ABxz} = 29.863 \quad \text{N.}$$

$$V_{BCxz} = -C_x$$

$$V_{BCxz} = -29.863 \quad \text{N.}$$

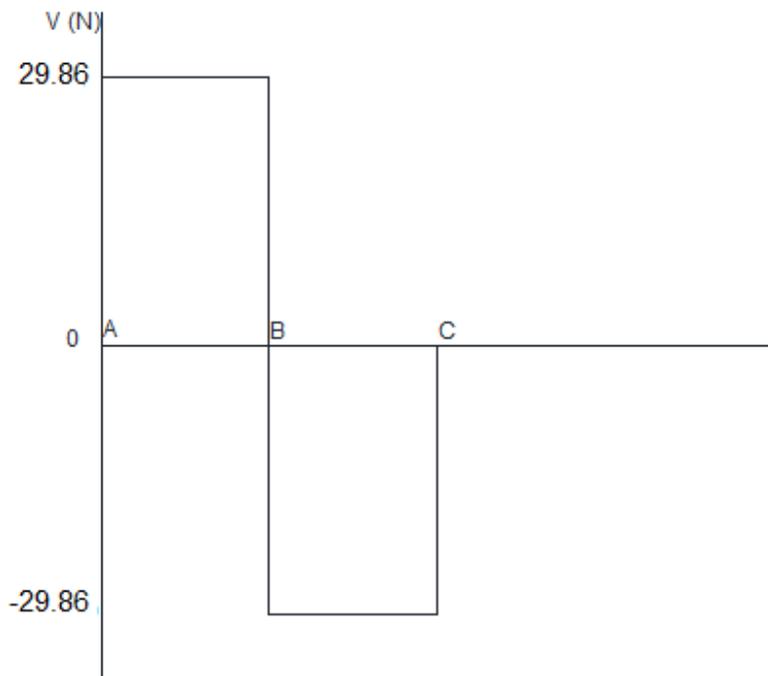


Fig. 3.6 Diagrama de esfuerzo cortante, plano xz

### Diagrama de Momento Flector

Para el punto B:

Fórmulas de tabla E9:10 de Shigley [19]

$$M_{ABxz} := \frac{C_x \cdot 0.15 \cdot 0.15}{0.15}$$

$$M_{ABxz} = 4.48$$

$$M_{BCxz} := -C_x (0.15 - 0.15 - 0.15)$$

$$M_{BCxz} = 4.48$$

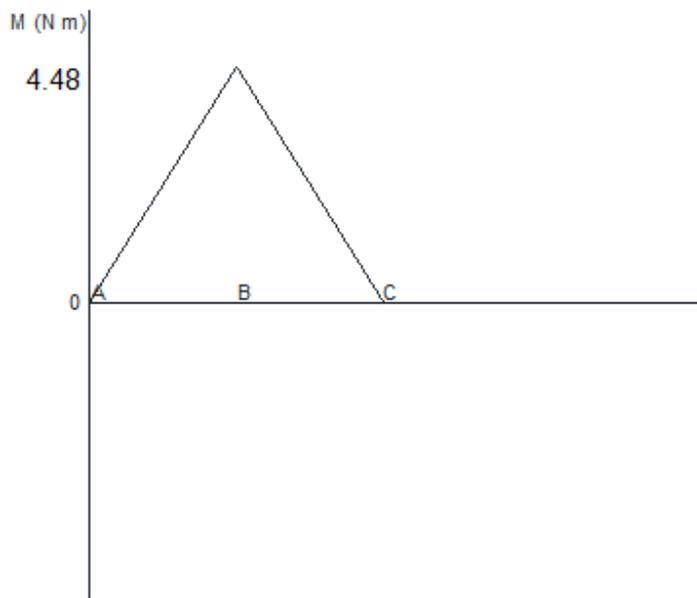


Fig. 3.7 Diagrama de momento flector, plano xz

### Diagrama de Torques

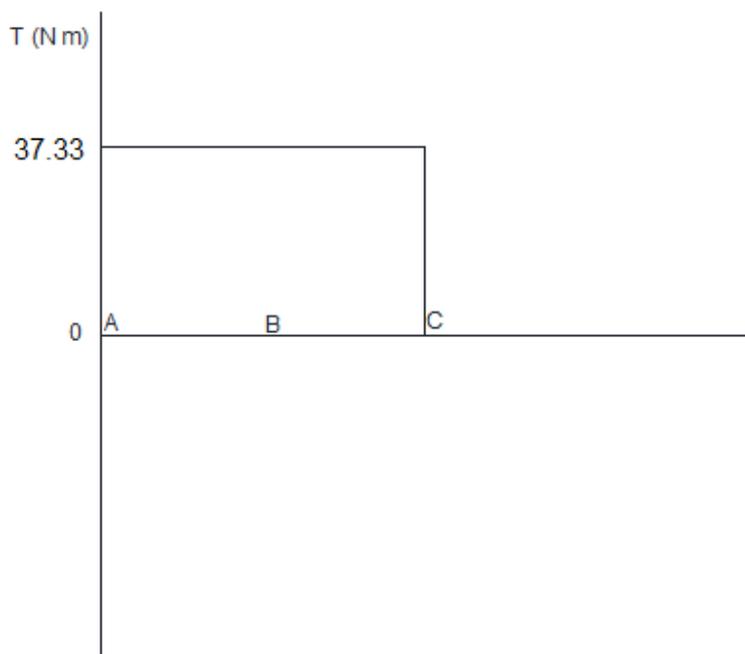


Fig. 3.8 Diagrama de torque

### Selección del Material

Eje de Trasmisión: SAE 1018

Propiedades Mecánicas: Laminado en Frío

| Propiedades: Laminado en Frío                 |        |
|---|--------|
| Esfuerzo de cedencia, Kg/mm <sup>2</sup>      | min,31 |
| Resistencia a la Tracción, Kg/mm <sup>2</sup> | 51-71  |
| Elongación, A5                                | 20%    |
| Reducción de área, Z                          | 57%    |
| Dureza  | 163 HB |

Tabla 3.1 Propiedades del acero 1018

Proveedor: - DIPAC S.A.

$$\begin{aligned} S_y &:= 31 \cdot 9.81 & S_u &:= 51 \cdot 9.81 \\ S_y &= 304.11 \text{ (MPa)} & S_u &= 500.31 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

### Sección A

$$\begin{aligned} T_s &:= T \cdot 1000 \\ T_s &= 37329 \text{ (N - mm)} & \text{Torque en la sección A'} \\ d &:= 38.1 \text{ (mm)} & \text{Díametro del eje en la sección A'} \\ \tau &:= \frac{16 T_s}{\pi \cdot d^3} \\ \tau &= 3.438 \text{ (Mpa)} & \text{Esfuerzo de torsión en la sección A'} \end{aligned}$$

El cortante directo es despreciable en comparación a la torsión, por lo que no se toma en cuenta.

$$F_s := \frac{S_y}{2 \cdot \tau} \quad \text{Teoría del esfuerzo cortante máximo (Conservadora)}$$

$$F_s = 44.234 \quad \text{La sección A resiste fácilmente.}$$

## Sección B'

Se analizará la sección B' porque tiene el momento flector mas grande y torsión

$$M_{ABxz} := M_{ABxz} \cdot 1000$$

$$M_{ABxz} = 4.48 \times 10^3 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{AByz} := M_{AB} \cdot 1000$$

$$M_{AByz} = -2.229 \times 10^5 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$M_{tB'} := \sqrt{M_{AByz}^2 + M_{ABxz}^2}$$

$$M_{tB'} = 222960 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$d := 38.1 \quad (\text{mm})$$

Díámetro del eje en la sección B'

$$\sigma_b := \frac{32 \cdot M_{tB'}}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma_b = 41.063 \quad (\text{Mpa})$$

Esfuerzo de flexión en la sección B'

$$\tau := \frac{16 \cdot T_s}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau = 3.438 \quad (\text{Mpa})$$

Esfuerzo de torsión en la sección B'

No existe cambio de sección:

$$K_{t1} := 1$$

$$K_{ft} := K_{t1}$$

$$K_{ts} := 1$$

$$K_{fs} := K_{ts} \quad (\text{Criterio conservador } (q = 1))$$

### Análisis por fatiga

$$\tau_m := K_{ts} \cdot \tau$$

$$\tau_a := 0$$

$$\sigma_{bmax} := \sigma_b$$

$$\sigma_{bmin} := -\sigma_b$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma_{bmax} + \sigma_{bmin}}{2}$$

$$\sigma_m = 0 \quad (\text{Mpa})$$

$$\sigma_a := \frac{\sigma_{bmax} - \sigma_{bmin}}{2}$$

$$\sigma_a = 41.063 \quad (\text{Mpa})$$

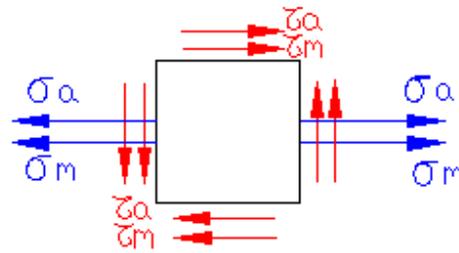


Fig. 3.9 Sección con esfuerzos  $m$  y  $a$

$$\sigma_{eqm} := \sqrt{\sigma_m^2 + 4 \cdot \tau_m}$$

$$\sigma_{eqm} = 6.875 \quad (\text{Mpa})$$

$$\sigma_{eqa} := \sqrt{\sigma_a^2 + 4 \cdot \tau_a}$$

$$\sigma_{eqa} = 41.063 \quad (\text{Mpa})$$

### Resistencia a la fatiga

$$S_u = 500.31 \quad (\text{Mpa})$$

$$S_y = 304.11 \quad (\text{Mpa})$$

$$k_{\text{tamaño}} := 1.24 d^{-0.10}$$

$$k_{\text{tamaño}} = 0.84$$

$$k_{\text{carga}} := 0.59$$

### Teoría del esfuerzo cortante máximo ( Conservadora )

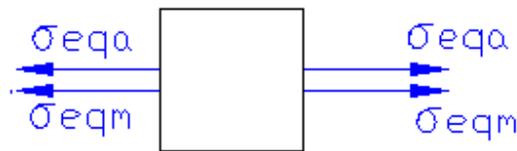


Fig. 3.10 Sección con esfuerzos equivalentes

Ecuación 7-10 de Shigley [19]

Tabla 7-7 de Shigley [19]

$k_{\text{superficie}} := 4.45 S_u^{-0.265}$  Tabla 7-5 de Shigley para maquinado [19]

$k_{\text{superficie}} = 0.857$  Laminado en frio

$k_{\text{conf}} := 0.897$  confiabilidad del 90%

$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot k_{\text{carga}} \cdot k_{\text{tamaño}} \cdot k_{\text{superficie}} \cdot k_{\text{conf}}$

$S_e = 95.319$  (Mpa)

Cálculo del factor de seguridad (Sodelberg)

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma_{\text{eqm}} + \frac{S_y}{S_e} \cdot \sigma_{\text{eqa}}}$$

$F_s = 2.206$  La sección B' resiste.

### Cálculo de rigidez de la flecha

El análisis de rigidez se lo hara para una sección transversal constante de  $d = 38.1$  mm.

$d = 38.1$  (mm) Diámetro de la sección

$$I := \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$I = 1.034 \times 10^5$  (mm<sup>4</sup>) Inercia de la sección

$L := 150$  (mm) Longitud desde apoyos de la flecha

$E := 210 \cdot 10^3$  (Mpa) Módulo de elasticidad del acero

### **Plano yz**

$$Y_{\text{max}} := -\frac{C_y \cdot L^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot (L + L)$$
 Tabla E 9-10 de Shigley [19]

$Y_{\text{max}} = -0.154$  (mm) Se fleja al rededor de 0.15 mm hacia abajo

### **Cálculo de vibraciones**

Para analizar las vibraciones de eje se utilizará un método aproximado calculando la velocidad natural de vibración del eje y compararla con la velocidad angular a la que este gira.

Peso de la rueda

$$W_r := \frac{w_{rueda}}{9.81} \quad (\text{Kg}) \quad \text{Peso de la rueda}$$

Peso del eje

$$W_{total} := \frac{w_{eje}}{9.81} \quad (\text{Kg}) \quad \text{Peso del eje}$$

### **Calculo de la deflexion**

$$W_o := W_{total} + W_r$$

$$W_a := W_o \cdot 1000$$

$$y_2 := \frac{W_o \cdot 600^2 \cdot 9.8}{3 \cdot E \cdot I}$$

### **Cálculo de las velocidades naturales de vibración**

$$N_{n2} := \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9800(W_o \cdot y_2)}{W_a \cdot y_2^2}}$$

Comprobación que el eje no gire a una velocidad cercana a su velocidad natural de vibración

$$\frac{N_{n2}}{90} = 3.604$$

Velocidad Natural de Vibración Final

$$Y_{max} := 0.03$$

Deflexión máxima en el eje

$$W_{total} = 5.37 \quad (\text{Kg})$$

Peso total del eje

$$W_u := W_{total} + W_r$$

$$N_{\text{final}} := \frac{30}{\pi} \sqrt{\left| \frac{9800 W_u \cdot Y_{\text{max}}}{W_o \cdot Y_{\text{max}}^2} \right|}$$

Comprobamos que el eje no gire a una velocidad cercana a su velocidad natural de vibración

$$\frac{N_{\text{final}}}{90} = 57.821$$

Mientras estas relaciones estén más lejos de 1, la velocidad de rotación de la flecha respecto a la velocidad natural de vibración estarán más distantes.

### Capacidades de carga recomendable para el eje

|  |            |   |
|--|------------|---|
| Peso Máximo                            | 300 Kg.    | Máxima capacidad  |
| Peso máximo recomendado                | 241.48 Kg. | Peso máximo recomendado   |
| Peso utilizado actualmente             | 151.48 Kg  | Rueda existente con dos espiras de manguera más elementos de sujeción   |
| Peso de incremento máximo recomendable | 90 Kg      | Equivalente aproximadamente a una espira adicional mas sus respectivos elementos de sujeción o dos espiras similares de manguera adicionales anclados a los radios y elementos de sujeción existentes |

Tabla 3.2 Tabla de capacidades de carga del eje

### 3.2 Diseño de la estructura de soporte.

Para realizar el diseño de la estructura se utilizó el software SAP2000 versión 14 para cálculo estructural.

En las secciones siguientes se presentan los respectivos análisis de la estructura obtenidos con el mencionado software.

#### 3.2.1 Materiales utilizados en la estructura.

| CODIGO         | DESCRIPCIÓN                                 |
|----------------|---|
| 2 plg.         | Tubo sección cuadrada 2", espesor 3,5 mm.   |
| 1 plg.         | Tubo sección cuadrada 1", espesor 3,0 mm.   |
| Redondo ½ plg. | Tubo sección redonda D1/2", espesor 2.5 mm. |
| Canal          | Canal de 2"x1", espesor 3 mm.               |

Tabla 3.3 Materiales utilizados en la estructura.

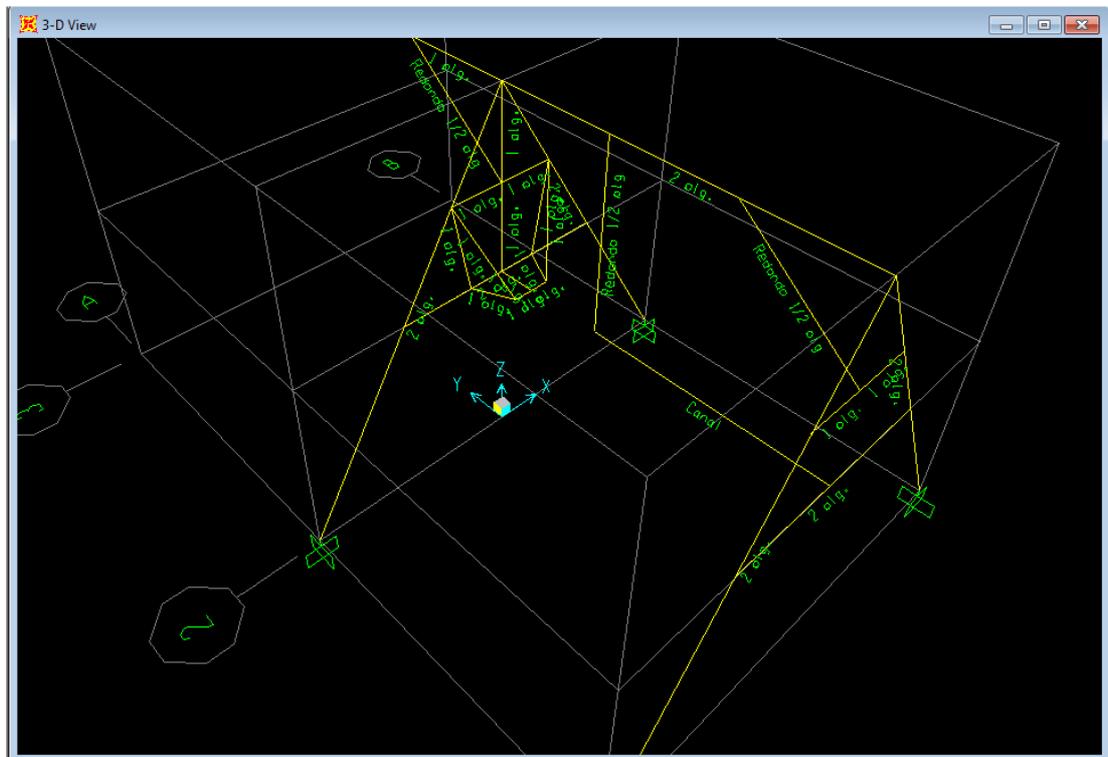


Fig. 3.11 Vista 3D en SAP de estructura asignada los materiales

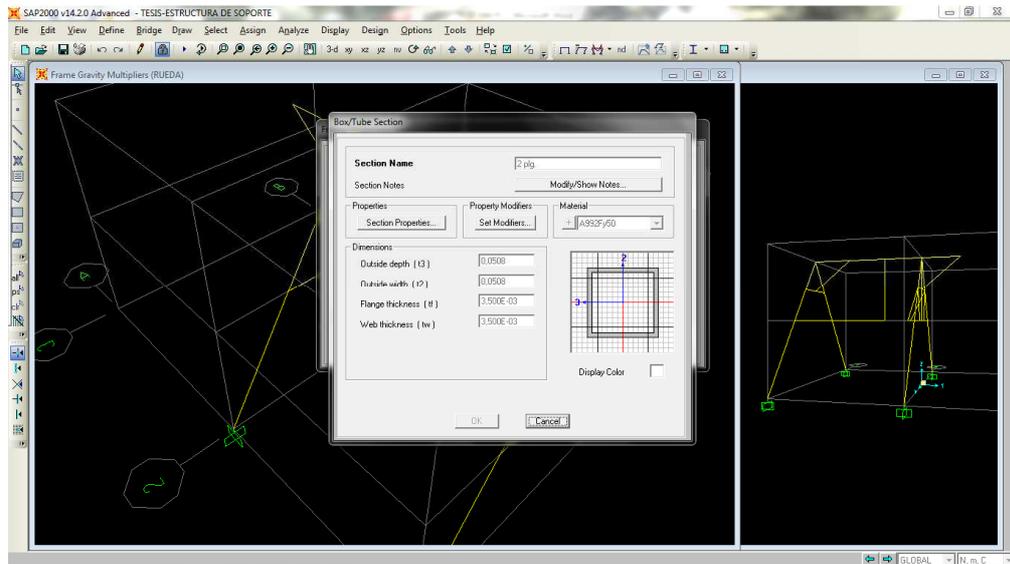


Fig. 3.12 Ingreso de dimensiones de secciones de elementos

### 3.2.2 Cargas asignadas a estructura:

Las cargas asignadas corresponden a las obtenidas en el diseño de la rueda en la sección 3.1, debido a que la estructura trabaja soportando la rueda y la carga lateral debido al agua del río.

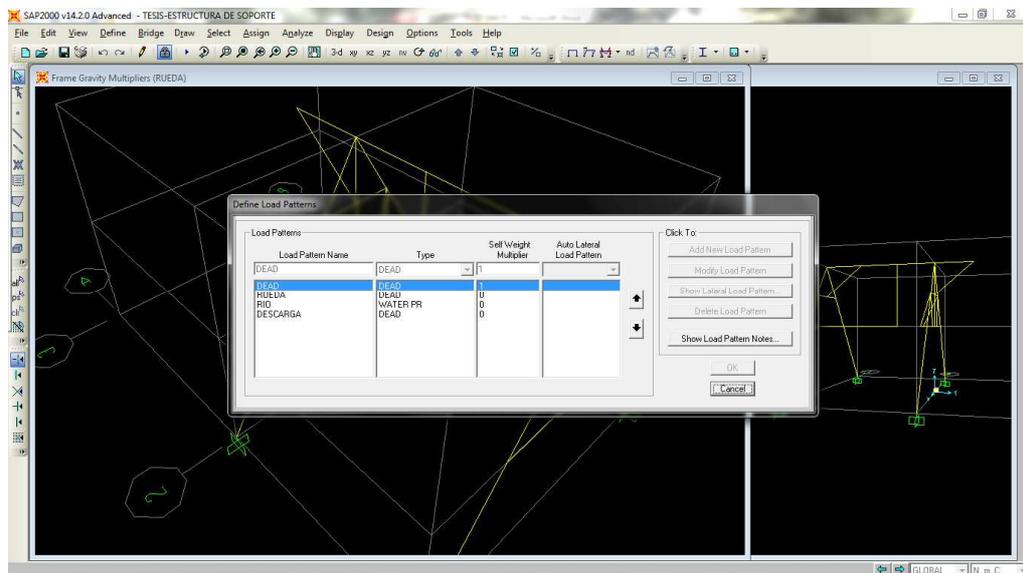


Fig. 3.13 Ingreso de propiedades de cargas

| CODIGO CARGA | DESCRIPCION  |
|--------------|--|
| DEAD         | Carga debido al peso de la estructura                            |
| RUEDA        | Cargas debido a soportar la rueda                                |
| RIO          | Carga distribuida debido a la corriente del río o fuente de agua |
| DESCARGA     | Carga estimada debido a los elementos de la descarga.            |

Tabla 3.4 Detalle de las cargas asignadas.

### 3.2.3 Análisis de estructura:

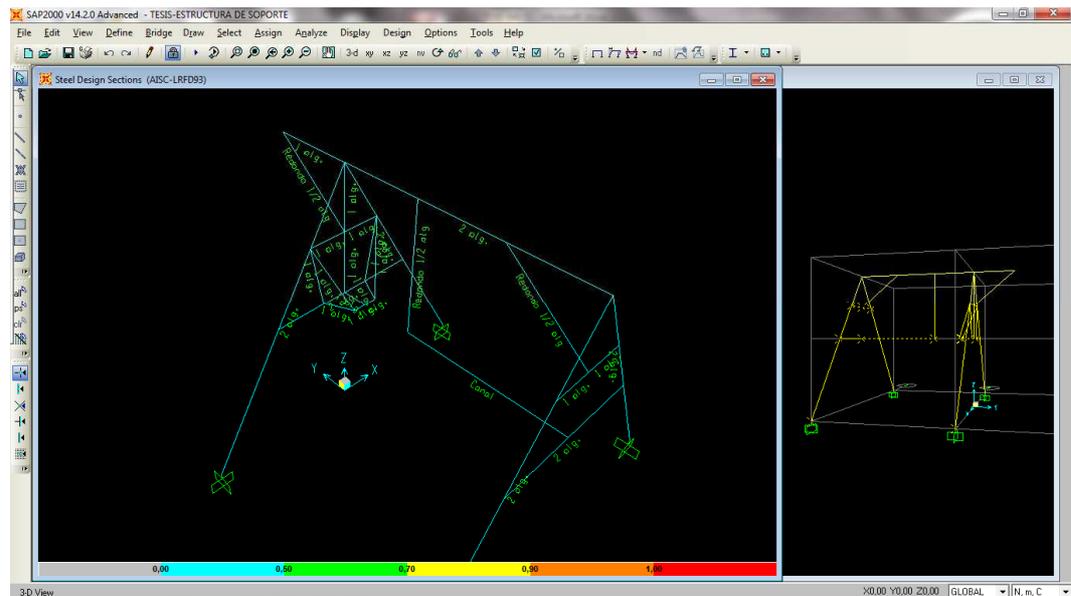


Fig. 3.14 Análisis de la demanda capacidad.

Con los resultados obtenidos de la demanda capacidad, se tiene que se encuentra en la zona celeste, la misma que corresponde a valores de demanda capacidad inferiores a 0.5, lo que nos indica que la estructura.

soporta sin problemas las cargas asignadas ya que dicho resultado es mucho mejor mientras más se aleje de 1.

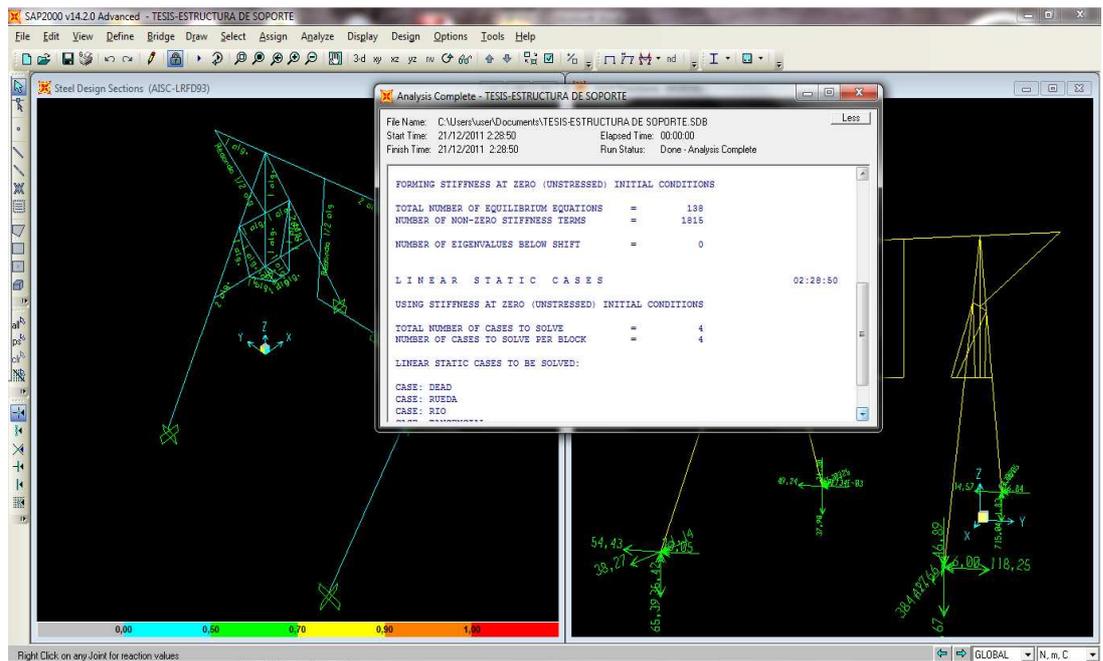
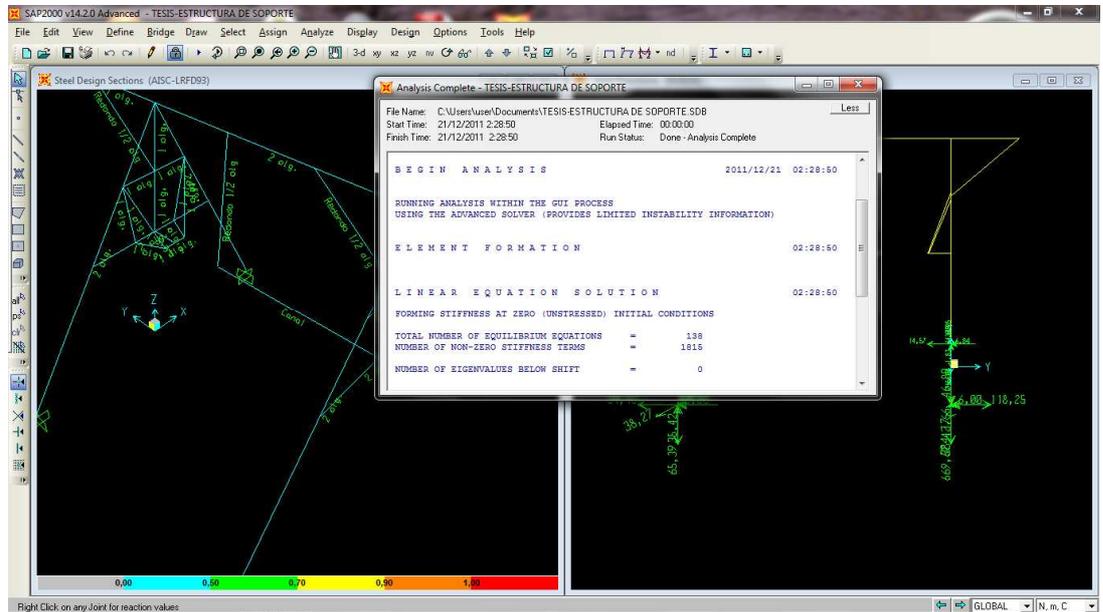


Fig. 3.15 Resumen resultante de análisis de estructura

SAP2000 v14.2.0 Advanced - TESIS-ESTRUCTURA DE SOPORTE

File Edit View Define Bridge Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

Base Reactions

Units: As Noted

| AtutCa | CaseType    | GlobalFX      | GlobalFY      | GlobalFZ       | GlobalMX       | GlobalMY      | GlobalMZ      | GlobalRX | GlobalRY | GlobalRZ | XCentroidFX   | YCentroidFY | ZCentroidFZ | XCentroidFX    | YCentroidFY  | ZCentroidFZ | XCentroidFX    | YCentroidFY | ZCentroidFZ |
|--------|-------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|---------------|-------------|-------------|----------------|--------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| DEAD   | LinStatic   | 0.00000003837 | 0.00000006443 | 1220.18        | -1406.18       | 0.00000005932 | 0.00000001587 | 0        | 0        | 0        | 0.00000000000 | 0.04444     | 0           | -0.34438       | 260000000000 | 0           | 2.609E-15      | -1.19529    |             |
| RUEDA  | LinStatic   | -29.86        | 0.00000001503 | -1488          | 422.08         | 43.3          | 214.35        | 0        | 0        | 0        | -49.7958      | 1.3839      | 0           | 0.444000000000 | 780000000000 | 0           | -0.02043       | -0.17909    |             |
| PIO    | LinStatic   | 200.77        | 0.00000002669 | 0.000000001391 | 0.000000007607 | 145.56        | 259           | 0        | 0        | 0        | 3.468E-15     | -1.28842    | 0           | 0.175700000000 | -0.61633     | 0           | 0.210000000000 | -3.42018    |             |
| NGENDI | LinStatic   | -29.86        | 2.363E-13     | -2             | 1.72           | -43.3         | -25.88        | 0        | 0        | 0        | -0.06862      | -2.07956    | 0           | 0.200000000000 | 160000000000 | 0           | -14.74369      | -0.07921    |             |
| DSTL1  | Combination | -93.62        | 0.00000000219 | -377.74        | -1375.33       | -121.24       | 264.14        | 0        | 0        | 0        | 0.00000000000 | -0.91171    | 0           | 0.300000000000 | 296000000000 | 0           | -20.66377      | -3.10098    |             |
| DSTL2  | Combination | -93.73        | 0.00000001564 | -269.82        | -982.38        | -86.6         | 188.67        | 0        | 0        | 0        | 0.00000000000 | -0.65122    | 0           | 0.800000000000 | 640000000000 | 0           | -14.76412      | -2.2147     |             |
| DCDN2  | Combination | -83.62        | 0.00000000219 | -377.74        | -1375.33       | -121.24       | 264.14        | 0        | 0        | 0        | 0.00000000000 | -0.91171    | 0           | 0.300000000000 | 296000000000 | 0           | -20.66377      | -3.10098    |             |

Record: 1 of 7

Add Tables... Done

11 Points 5 Frames Selected

GLOBAL N, m, C

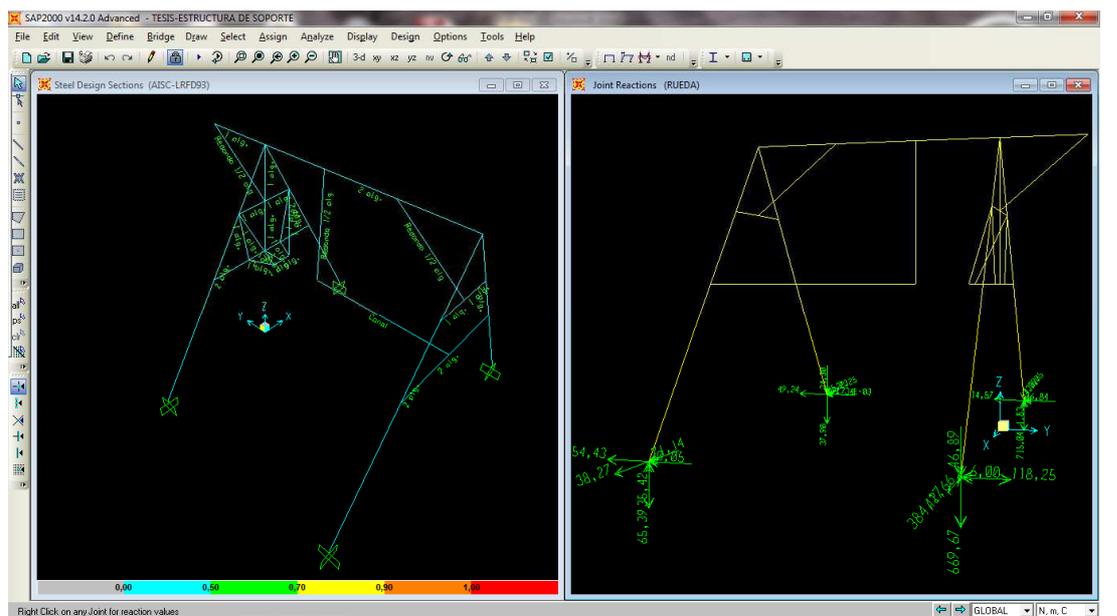


Fig. 3.16 Reacciones resultantes de análisis de estructura

### 3.2.4 Análisis de carga máxima

Se analizó con el software SAP la estructura simulando cargas adicionales que representarían una tentativa colocación de una segunda rueda de dimensiones y peso similar a la existente, con el fin de observar si la estructura soporta o no.

En un primer análisis se colocó una segunda rueda articulada a la existente y se obtuvo una demanda capacidad de algunos elementos en la zona roja, lo que nos indica que los mismos no soportarían si se colocaría una rueda adicional articulada a la existente

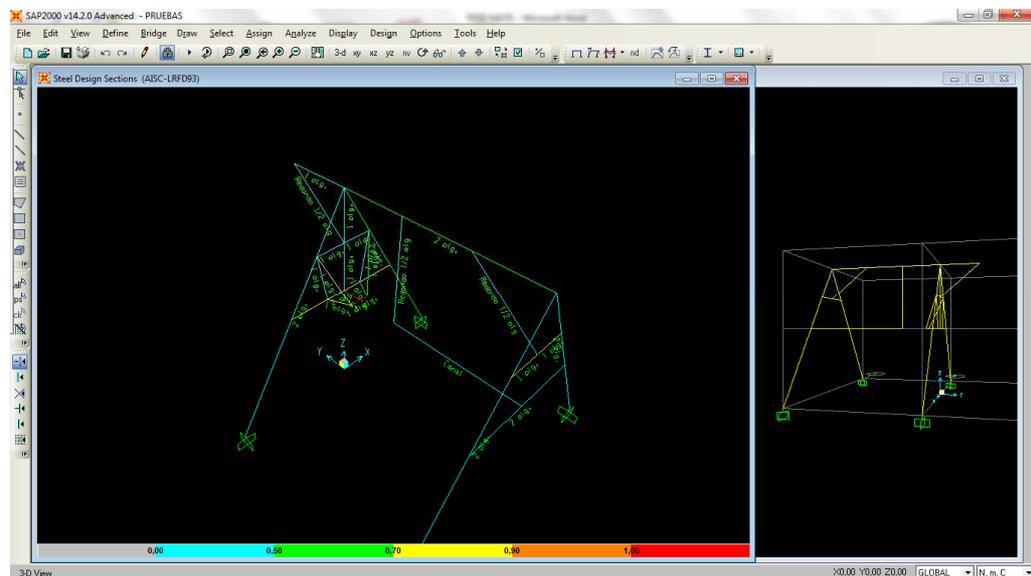


Fig. 3.17 Análisis de Demanda Capacidad con una segunda rueda articulada a la existente

Se observa que en color rojo están los elementos de sección cuadrada de 1" donde se asienta la rueda, los mismos que serían los que no soportarían, también se observa que la viga horizontal de sección 2 plg. sobre la cual se asienta la rueda, trabaja presenta un color amarillo, lo que ya nos indica que tiene una demanda capacidad entre 0.7 y 0.9, lo cual sería un trabajo muy al límite.

En un segundo análisis se coloca una segunda rueda del otro lado de la estructura, de manera que ambas ruedas queden paralelamente una frente a la otra.

Se aclara que para colocar otra rueda, se deberían además añadir los elementos respectivos para asentar dicha rueda, además de los elementos de 1" presentes en el otro lado de la estructura, los mismos que refuerzan la viga de 2".

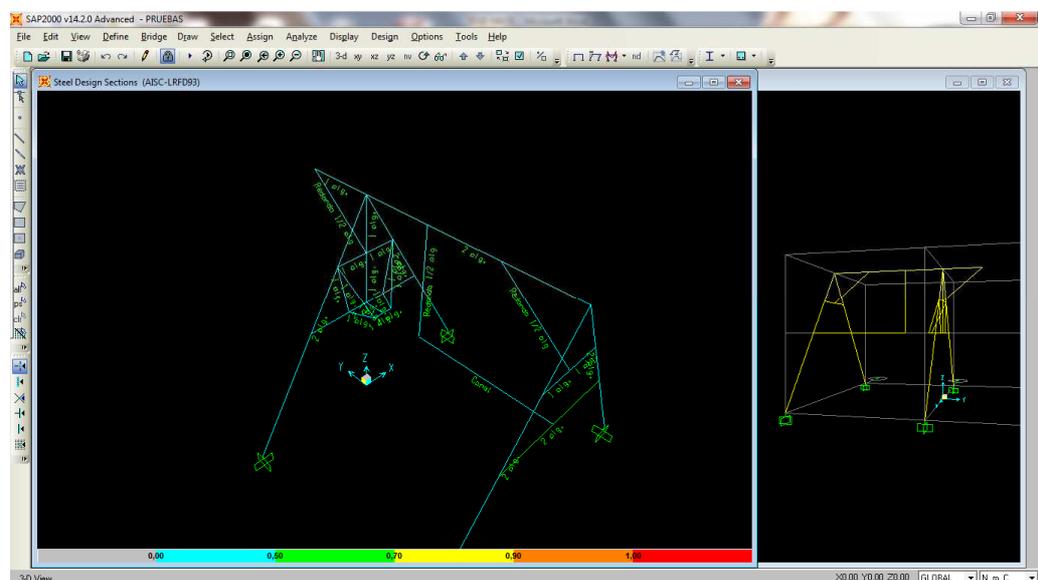


Fig. 3.18 Análisis de Demanda Capacidad con una segunda rueda colocada del otro lado de la estructura.

Observamos que en este caso la estructura presentaría una demanda capacidad menor a 0.5, pero la viga horizontal donde se asentaría la segunda rueda, trabaja hasta con demanda capacidad de hasta 0.7, lo que serían parámetros normales de funcionamiento pero ya no se recomienda aumentar más.

### 3.2.5 Carga máxima recomendable para la estructura

Observando los resultados obtenidos en el anterior análisis, se detalla que de existir la futura posibilidad de aumentar las ruedas de espirales, se recomienda lo siguiente.

|  |  |
|--|--|
| Ruedas existentes  | 1 de 151.68Kg.   |
| Numero máximo de ruedas recomendado.   | 2  |
| Disposición  | Paralelas, una frente a la otra, una de cada lado de la estructura |
| Peso máximo recomendado de cada rueda (Verificar Tabla 3.2 Tabla de capacidades de carga del eje | 241.48 Kg cada rueda   |

Tabla 3.5 Detalle de carga máxima recomendable de estructura.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.**

#### **4.1 Desarrollo de Banco de Pruebas**

##### **4.1.1 Características del banco de pruebas.**

Al momento de diseñar el dispositivo se pensó con gran detenimiento en la finalidad de este producto y por lo tanto en el uso que éste tendría como equipo del laboratorio de energías renovables de la ESPE y en la utilidad que debe proveer al usuario.

Por lo tanto, se partió con la idea que del dispositivo se debería tomar datos lo más cercanos a la realidad como sea posible, por lo tanto se debía construir una rueda de buenas prestaciones como para trabajo real.

Con esto se llegó a la conclusión de que la rueda debe construirse de un buen tamaño, ya que para este tipo de bombas sería la única manera de que los datos arrojados muestren de manera clara sus verdaderas tendencias al variar las magnitudes de diseño.

Al mismo tiempo se consideró que el equipo debe ser totalmente desarmable, de material durable y de fácil uso en el que se pueda modificar y graduar experimentalmente diferentes magnitudes y parámetros de diseño con el propósito de evaluar el comportamiento de bombas de espiral.

##### **4.1.2 Construcción de estructura de la rueda**

La rueda, como se indicó anteriormente debía ser de grandes dimensiones, por lo que había que construir primeramente una estructura que soporte el peso de la manguera con el agua y ésta debería girar libremente.

Se partió de la idea de utilizar un eje conectado a chumaceras, de manera que gire libremente, y sobre dicho eje armar la estructura y la rueda.

Se utilizó entonces un eje de acero 1030 al frio de pulgada y media de diámetro y 23,6 pulgadas de longitud.

A este eje, mediante una chaveta, se sujetan tres placas de acero 4340, redondas de 30 cm. de diámetro y 8mm de espesor.

Dicha geometría redonda de las placas se logró mediante el uso de proceso de oxicorte y posteriormente se usó amoladora para dar un terminado uniforme en los bordes.



Fig. 4.1 Fotografías de eje y placas utilizadas en la rueda.

Entre estas placas se ajustarán mediante pernos dos juegos de radios de madera que serán los que formen la rueda de soporte. Dos juegos de radio porque se colocaran dos espiras de manguera, uno a cada lado de la rueda y con proyección a amarrar espiras adicionales en cada lado.

Se colocarán entonces en el eje una placa, junto un juego de radios de madera, junto otra placa, luego junto otro juego de radios y finalmente junto otra placa; quedando así una placa en cada extremo y una en el centro entre los radios.

Estas placas tienen una separación de pulgada y cuarto, que será la medida del ancho de los radios para formar la rueda.

Para formar esta separación se adicionó entre las placas dos manzanas de acero de 3 pulgadas de diámetro y la pulgada y cuarto de ancho, sujetadas al eje mediante la chaveta y aseguradas mediante prisioneros de  $\frac{23}{64}$ " y  $\frac{6}{8}$ " de longitud.



Fig. 4.2 Fotografías de chaveta, manzana y prisionero a colocarse en eje junto con las placas

Mientras tanto que en las placas se realizó los orificios centrales de pulgada y media con su respectivo chavetero, luego se taladró en cada placa los 16 orificios de diámetro 5/8". Estos orificios estaban dispuestos dividiendo la circunferencia en 8 partes iguales ubicando simétricamente dos orificios en cada división.



Fig. 4.3 Fotografías de placas agujereadas y colocadas correctamente en el eje.

Estos orificios representarían los agujeros por donde pasarían los pernos para ajustar los radios.

Alrededor de una placa van 8 radios cada uno de estos sujetado con dos pernos, dando un total de 16 radios.

Estos radios serán de madera colorado por ser resistente. Y sus dimensiones serán de 120 cm x 5 cm x 2 cm.



Fig. 4.4 Fotografías de los radios de madera colorado cortados, y durante el proceso de taladrado de los agujeros.

Las tres placas y los dos juegos de radio van ubicados paralelamente, además de sus orificios simétricamente ubicados de modo que 16 pernos de 5/8 ajustan las 3 placas con los dos juegos de 8 radios.

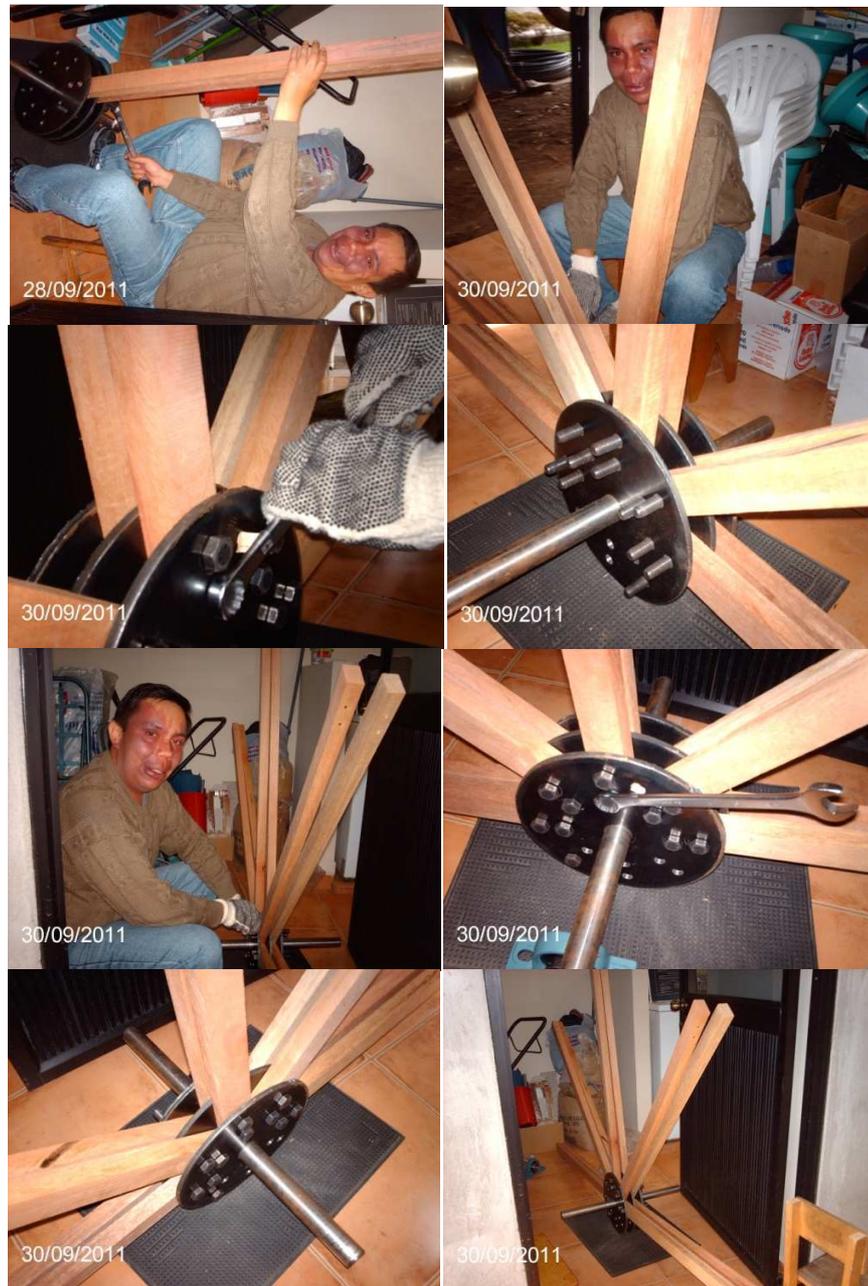


Fig. 4.5 Fotografías de ensamblaje de la rueda de soporte

Los 16 pernos de 5/8" serán ajustados con sus respectivas tuercas de presión.



Fig. 4.6 Fotografías de estructura de rueda ensamblada

Esta estructura girará gracias a dos chumaceras de piso de una pulgada y media que le serán colocadas en un extremo del eje.



Fig. 4.7 Fotografías de chumaceras a utilizarse para el giro.

#### 4.1.3 Construcción de Paletas

La bomba será diseñada para girar en un río o acequia, impulsada por la fuerza de la corriente del agua; o sea que girará utilizando la energía cinética del agua.

Las paletas son elementos ubicados al borde de la rueda, de modo que reciban la energía de la corriente del agua y transmitan hacia la rueda impulsándola a girar. En este proyecto se colocaron ocho paletas alrededor de la circunferencia de la rueda, cada una ajustada en cada par de radios de la rueda mediante 4 pernos de 3/8".

Las paletas se hicieron de madera seike por ser liviana, se cortaron tablas de 30 cm x 19cm x 20 mm de espesor.

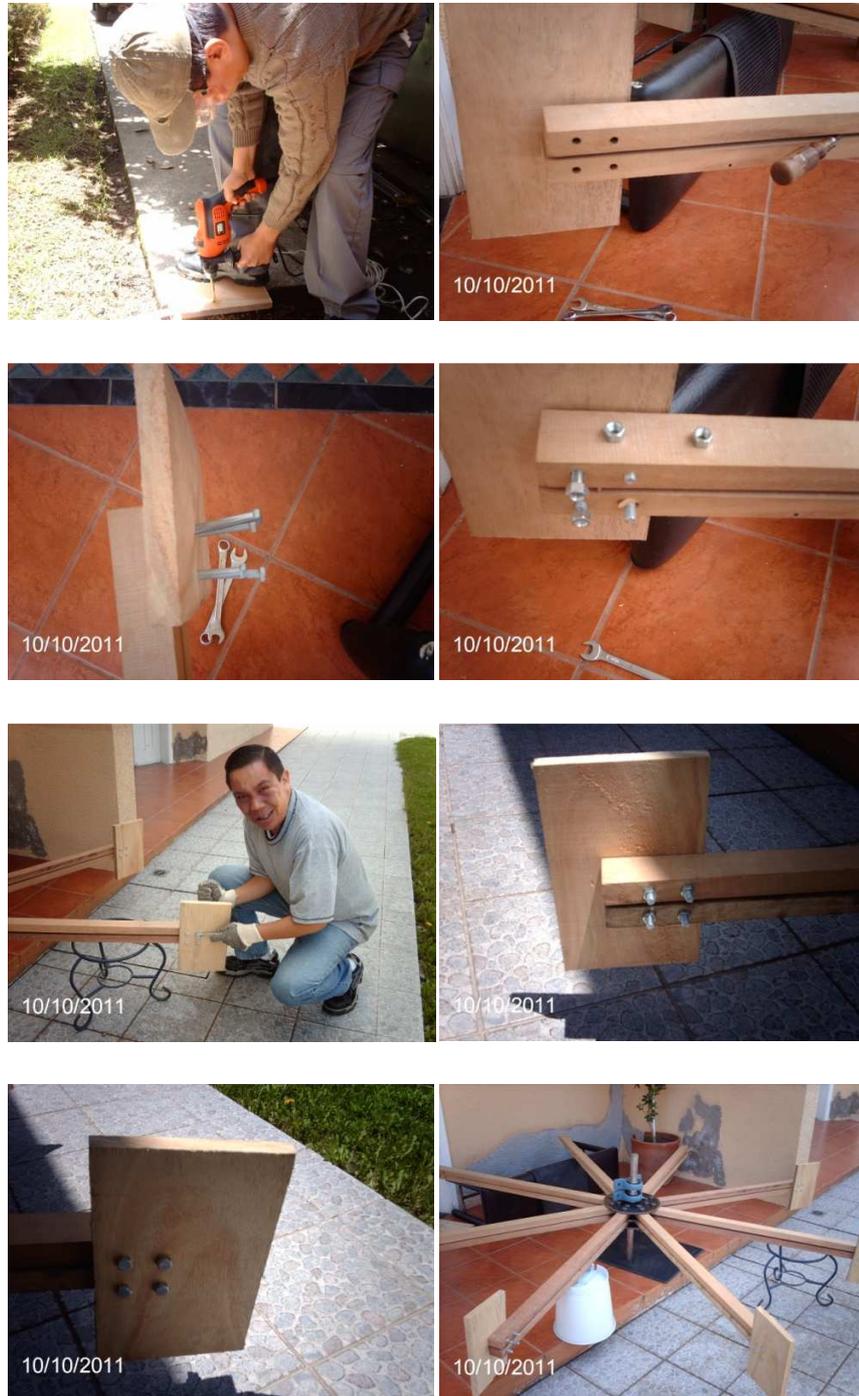


Fig. 4.8 Fotografías de preparación y colocación de paletas

#### 4.1.4 Construcción de bobinas en espiral.

Se colocaron dos espiras de manguera de polietileno, una a cada lado de la estructura de la rueda y sujeta a los respectivos radios.

La una espira se hizo con manguera de polietileno de diámetro 3/4" y la otra espira con manguera de 1" de diámetro interno, también de polietileno.



Fig. 4.9 Fotografías de mangueras de polietileno de 3/4" y de 1" utilizadas para las espiras

Se empezó espiralando la manguera de 1", empezando desde la espira más grande o externa de la rueda, la misma que tendría un diámetro de 1.10 m.



Fig. 4.10 Fotografías de inicio de espiralado de la manguera.

La manguera de polietileno se sujetó a la estructura mediante alambre galvanizado las dos primeras espiras, ya que en la primera

se sujetaba la manguera con alambre a cada uno de los radios y a un perno de la paleta; mientras que en la segunda espira se sujetó también con alambre que envolvía la manguera con el radio y la primera espira ya sujeta.



Fig. 4.11 Fotografía de sujeción de la primera espira con alambre galvanizado que envuelve la manguera con el radio y a un perno de las paletas

Para demás espiras se utilizó tiras plásticas de amarre, de tal forma que se iba sujetando la manguera con el radio y con la espira anterior.



Fig. 4.12 Fotografía de tiras plásticas de amarre

De esta manera se espiraló la manguera hasta lograr tener una rueda de 11 espiras.



Fig. 4.13 Fotografías de colocado de espiral manguera de 1"

Posteriormente al otro lado de la estructura se procedió a colocar la espira con la manguera de  $\frac{3}{4}$ ", utilizando el mismo procedimiento también hasta obtener una rueda de 11 espiras.



Fig. 4.14 Fotografías de colocado de espiral manguera  $\frac{3}{4}$ "

En cada espiral, en el extremo de la espira externa de la manguera enrollada, se colocó mediante juntas para mangueras un pedazo de 60cm de manguera de polietileno de 2"; esta será la boca de entrada. Al extremo libre de estas bocas de entrada se colocó unos tapones de rosca, con el fin de que el usuario tape y destape fácilmente conforme necesite utilizar o no cada espira.



Fig. 4.15 Fotografía de bocas de entrada de agua a espira

En cada espiral, en el extremo de la espira más interno, se colocó válvulas de paso de fluido, ambos de  $\frac{3}{4}$ ", debiendo poner la reducción respectiva para la manguera de 1". Luego de estas válvulas de  $\frac{3}{4}$ " ambas tuberías se unen por medio de una te de  $\frac{3}{4}$ " a una única manguera transparente que se encuentra conectada directamente a la articulación giratoria acoplada al eje de la cual se trata con más detalle más adelante y que se une con la manguera de descarga.



Fig. 4.16 Fotografía de válvulas de las espiras y unión

En la espiral con la manguera de  $\frac{3}{4}$ ", se realizó un corte a la manguera en la tercera espira, esto con el objeto de probar el comportamiento de la espiral con 9 espiras y luego con 11.

Se tuvo que colocar en esta parte una unión con una tercera boca de entrada exclusiva para 9 espiras y con un tapón para cuando se requieran 11; además se colocó una válvula, con el objeto impedir el paso del agua hacia las dos espiras externas inhabilitadas cuando se requiera usar 9 espiras.



Fig. 4.17 Fotografía de boca de entrada para 9 espiras en espiral de  $\frac{3}{4}$ "

#### 4.1.5 Articulación hidráulica.

Es un elemento está ubicado en el centro de la rueda, está centradamente acoplado al extremo en voladizo del eje; su función es unir el paso del flujo que viene desde las mangueras enrolladas con la manguera de descarga que se encuentra fija, tendida en el terreno y con dirección hacia el destino final deseado para el agua.

Esta articulación llega a ser la parte más complicada en la elaboración de una rueda en espiral, y por lo tanto de este banco de pruebas ya que es un elemento que debe unir una manguera que está rotando con otra fija impidiendo además que el agua se fugue.

Para este elemento se analizó detenidamente como fabricar uno que cumpla con los requisitos anteriormente descritos y de dimensiones

acordes a las mangueras de 1" y  $\frac{3}{4}$ ", o buscar alguna manera de adaptar uno o varios elementos hidráulicos, sean estos de plástico, de cobre o partes de bombas, etc.

Primeramente se probó adaptando un universal de cobre soldado a cada lado con acoples y dotado de un orín para evitar o por lo menos disminuir fugas; pero se detectó que iba a fugar gran cantidad de agua y que iba a haber un grande y prematuro desgaste de los elementos al girar, lo que restaría notablemente el tiempo de vida útil de este dispositivo.

Se descartó entonces el mencionado dispositivo.

Posteriormente ante la dificultad de elaborar esta articulación se buscó algún elemento industrial hidráulico que pueda servir o alguno que se lo pueda adaptar.

Luego de mucha investigación y búsqueda se encontró un acople industrial hidráulico de  $\frac{3}{4}$ ", de los que son utilizados en volquetas en el sistema hidráulico que levanta el cajón.

Este dispositivo dispone de una entrada para manguera de  $\frac{3}{4}$ " y con una salida de rosca macho también de  $\frac{3}{4}$ ", con la particularidad que gira el un extremo con la entrada mientras el otro permanece estático, siendo diseñado exclusivamente para este particular con los empaques y dispositivos precisos para dicho fin garantizando hermetismo del fluido.

Al cumplir con dicha condición y ser de  $\frac{3}{4}$ ", este dispositivo fue exactamente lo que se necesitaba para el banco de pruebas; ya que acopla una manguera que rota con otra que se mantiene estática sin fugas de agua.

Lo único que se tuvo que hacer es cortar con una sierra la cascara alrededor del acople para manguera de entrada, ya que era de los que se juntan apretando con muelas mecánicas, siendo esto diseñado

para altas presiones que bordean los 180 psi, por lo que no era necesario ya que en nuestro banco no se superará los 20 o 30 psi máximo; de modo que solo se juntó usando abrazaderas.

Se tuvo además que acoplar al eje elaborando un elemento de sujeción metálico desmontable, esto debido a que no podía ser soldado este elemento ya que posee empaques que se fundirían. Lo que va acoplado al eje fue el lado de la entrada de manguera ya que todo esto se encuentra rotando, mientras que el otro lado, el que no debe girar tocó acoplarle a la estructura de soporte del dispositivo.



Fig. 4.18 Fotografías de acople articulación hidráulico y elementos de sujeción montado en el banco de pruebas

#### **4.1.6 Mangueras de descarga.**

Se colocaron dos diámetros de mangueras para la descarga, de manera que el usuario pueda combinarlas con las de la espira y tener así varias opciones de probar.

Se usó 32 m. de manguera de polietileno negro de  $\frac{3}{4}$ " para la una descarga; mientras que para la otra se usó 16 m. de manguera mixta (transparente y de polietileno negro) de 1" con opción a incrementar su longitud con manguera de  $\frac{1}{2}$ ", de la que se disponía con 103 m.

Se acopló mediante adaptadores a la rosca de salida de la articulación hidráulica; luego, mediante una té se dividió para conectar las dos diferentes mangueras de descarga.

A la entrada de cada manguera de descarga se colocó una válvula con el objeto de que el usuario pueda permitir o impedir el paso del agua a cada manguera seleccionando fácilmente la manguera de descarga que necesite utilizar.

#### **4.1.7 Instrumentación del banco.**

Para la utilización del banco de pruebas se utilizará la siguiente instrumentación.

- Manómetro de presión de 100 psi, Conexión de rosca macho 1/2 pulgada.
- Cronómetro de apreciación 1/100 seg.

#### **4.1.8 Estructura de soporte del dispositivo.**

Se estableció que esta estructura debería ser totalmente desarmable debido a que será de gran tamaño de acuerdo a las dimensiones y peso de la rueda construida y tomando en cuenta además que debe soportar la fuerza de la corriente de un río caudaloso sin virarse y además soportando carga en movimiento. Por lo que se dedujo que el mejor material para construir esta estructura sería de acero estructural.

Además se debía tomar en cuenta que al ubicar el dispositivo en un río, el piso del mismo y de sus alrededores posee irregularidades en cuanto a inclinación, profundidad, materiales, etc. Por lo que se determinó que las patas de la base de la estructura deberían ser considerablemente graduables en altura.

Se debió considerar además que en un futuro a este dispositivo puede ser mejorado, agrandado e incluso se da la posibilidad abierta para colocar una segunda rueda al dispositivo.

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriormente dichas se procedió a construir un dispositivo utilizando tubo de acero estructural cuadrado de 2".

La estructura básicamente consiste en dos A grandes cubicadas una frente a la otra de manera paralela y separadas por un tubo de 2,58m conectado en la parte superior, a manera de estructura para columpios. Ambas A forman un triángulo de 2,96 m de base y 2,56m de altura.

Las patas de estas A son extensibles en 40 cm cada una con opción de graduación cada 10 cm, ajustable con un perno colocado a manera de pasador y asegurado por una tuerca.

Existen dos travesaños horizontales en estas A, el uno de 1m de longitud y colocado a 86 cm medidos desde el vértice superior del triángulo y el segundo de 1,64m de longitud, colocado a 1.42 m medidos desde el vértice superior del triángulo.

Sobre una de las A y asentada una base sobre el travesaño de 1.64 m. está montada la rueda de manera que ésta queda parada y de manera paralela a las A. Será montada mediante dicha base horizontal sobre la cual descansarán las dos chumaceras que soportan la rueda.

Cabe anotar que se debió poner las dos chumaceras al un solo lado del eje y se dejó tanto la rueda como el otro extremo del eje colgado en voladizo. Esto debido a que si asentáramos sobre algún elemento fijo el otro extremo del eje, al girar la rueda siempre se enrollaría la manguera contra ese elemento fijo y no habría forma de que funcione. Por lo tanto dicho lado del eje debe quedar libre y girar libremente junto con la rueda.

Y como se trató en la articulación hidráulica, en dicho extremo en voladizo del eje fue colocado únicamente dicho acople industrial cuyo lado giratorio de dicho acople está sujeta al eje que gira todo el tiempo y el otro lado del acople, el lado estático, está sujeto con la estructura de soporte, esto se lo hizo mediante la colocación pletinas. Toda la estructura es totalmente desarmable.



Fig. 4.19 Fotografías de estructura de soporte sujetando la rueda de espiral.

## CAPÍTULO V

### PRUEBAS DE DISPOSITIVO Y ANALISIS DE DATOS

#### 5.1 Pruebas del dispositivo.

El banco de pruebas construido fue sometido a varias pruebas, cada una de ellas trabajando con diferentes combinaciones de magnitudes y condiciones de trabajo; todo esto con el objetivo de tomar datos necesarios para posteriormente analizarlos y sacar conclusiones validas.

En cada una de estas pruebas, debía ser tomado un valor de una misma magnitud, para que éste sea comparable con el obtenido en las demás pruebas. Esta magnitud fue el caudal de descarga.

Para medir el caudal de descarga de la bomba, en todas las pruebas se utilizó un mismo sistema de toma de valores. Este consistió en tomar con un cronómetro el tiempo en que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido, que en este caso se utilizó una caneca de 20 litros de volumen.



Fig. 5.1 Fotografía de Caneca de 20 litros utilizada para medir el caudal

De esta manera, obtenemos el caudal utilizando la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.1)$$

Donde:

Q: Caudal

V: Volumen del recipiente a llenarse

T: Tiempo que tarda en llenarse el recipiente.

Por lo tanto, el caudal será primeramente obtenido en unidades de l/min, valor que posteriormente puede ser transformado a  $\frac{m^3}{s}$ , o a  $\frac{ft^3}{s}$ , etc.

Las pruebas con el banco de pruebas construido se realizaron utilizando dos fuentes de agua.

- Un río.
- Un tanque con agua.

#### **5.1.1 Pruebas en el río**

Para estas pruebas se necesitaba un río que no sea muy hondo ni con demasiada corriente, además que esté cercano a la ESPE; además debía ser de fácil acceso tanto vehicular como peatonal, esto con el objeto de facilitar el transporte del dispositivo, el armado y desarmado, y además del ingreso manual del dispositivo al río.

Se encontró un lugar ideal para hacer las pruebas que cumple las características anteriormente descritas, en la orilla del río Pita, en el barrio Selva Alegre, en la ciudad de Sangolquí del cantón Rumiñahui.

El lugar contaba además en la orilla una pendiente no muy pronunciada, pero muy útil como para establecer una altura desde el espejo del agua del río hasta el final de la descarga, altura necesaria para los posteriores cálculos y análisis.



Fig. 5.2 Fotografía de transporte de dispositivo desarmado



Fig. 5.3 Fotografías de armado de banco de pruebas en el río.

En el mencionado lugar y con este dispositivo se realizaron varias pruebas, cada una de ellas con diferentes combinaciones variando las siguientes magnitudes:

- Diámetro de manguera enrollada
- Diámetro de manguera de descarga
- Porcentaje sumergido.
- Número de espiras.
- Boca de entrada.



Fig. 5.4 Fotografías de pruebas con el banco en el río

Además se tomarán los valores de presión proporcionados por el manómetro en la línea de descarga.

También se anotará la velocidad de la rueda en rpm, simplemente contando las vueltas que da la misma durante el lapso de un minuto.

Durante las pruebas del dispositivo en el río que se llevaron a cabo los días 21 y 22 de Noviembre del 2011, se contó con la presencia de los Ingenieros Francisco Terneus y Roberto Gutierrez, director y codirector del proyecto respectivamente.



Fig. 5.5 Fotografía del Director del proyecto Ing. Francisco Terneus, junto al banco de pruebas trabajando en el río.

Primeramente cabe recalcar que se hicieron 5 tomas de datos para cada una de las distintas pruebas.

Se iniciaron las primeras pruebas, en que se varió el porcentaje sumergido de la rueda modificando la altura de las patas regulables y moviendo el dispositivo dentro del río.

Se utilizó la espira de manguera de diámetro  $\frac{3}{4}$  y la descarga también de  $\frac{3}{4}$ , se midieron las rpm, y el caudal; se obtuvieron los siguientes datos:

| %<br>sumergi | n  | D<br>[plg] | d Espiras<br>[plg] | d Descarga<br>[plg] | rpm | P<br>[psi] | Volume<br>n [gal] | t1<br>[min] | t2<br>[min] | t3<br>[min] | t4<br>[min] | t5<br>[min] | t promedio<br>[min] |
|--------------|----|------------|--------------------|---------------------|-----|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| 9,09         | 12 | 86         | 3/4                | 3/4                 | 1,6 | 2          | 5,28              | 22,5        | 20,8        | 21,8        | 20          | 23          | 21,61               |
| 27,27        | 12 | 86         | 3/4                | 1                   | 2,3 | 5          | 5,28              | 14,2        | 14,3        | 14,2        | 14,2        | 14,3        | 14,234              |

Tabla 5.1 Tabla de datos variando el porcentaje de sumergido

Donde:

n: Numero de espiras

d Espiras: Diámetro interno de manguera de espiral.

d Descarga: Diámetro interno de manguera de descarga.

P: Presión

t: Tiempo en llenarse recipiente de 20 l (5.28 gal).

Con estos datos posteriormente procederemos al respectivo análisis, especialmente al existente entre velocidad y caudal.

Posteriormente utilizando la misma configuración anterior se procedió a probar el comportamiento de la bomba sacándole la boca de entrada y luego únicamente con el bushing rebajándole su longitud; con lo que se obtuvieron resultados de caudal y presión sumamente bajos con los que nos resultaría un trabajo en vano tomar datos, pero se observó una tendencia muy clara que nos indica que la bomba funciona mucho mejor si se le coloca en la entrada una toma de dimensión superior al diámetro de la manquera y que mientras éste sea mucho más grande y largo, es mucho mejor.

También con la misma configuración, se procedió a sacar las 4 paletas de las 8 que son en total, sacándolas pasando una y dejando a la rueda únicamente con 4.

En este caso, al igual que en anterior, el resultado fue muy notorio ya que se encontraban muy lejanas una paleta de la otra, por lo que la rueda tendió a tener un régimen de giro muy irregular, al alternadamente existir instantes de tiempo en que no existía ninguna paleta sumergida en el agua ni siguiera parcialmente, disminuyendo esto la velocidad de la rueda hasta casi quedar en reposo durante dichos instantes, hasta que empieza a ingresar al agua la siguiente paleta que empujaría con más fuerza y aumenta levemente la velocidad, para que en el siguiente espacio entre paleta y paleta, ocurra nuevamente lo mismo, y así sustantivamente.

Como era de esperarse, este irregular régimen de giro, tiene una notoria incidencia en el bombeo del agua y en su caudal, lo cual claramente nos indica la tendencia que tiene la bomba respecto al número de paletas que es directamente proporcional a la velocidad de la rueda y al caudal.

Dicha esta clara tendencia, la mencionada relación entre caudal y velocidad se analizará con los datos de las primeras pruebas realizadas, por lo que no fue necesario tomar nuevamente datos.

Finalmente se realizó un nuevo grupo de pruebas, en las que se variarían los diámetros de  $\frac{3}{4}$ " y 1" de mangueras utilizadas tanto en la espira como en la de descarga; así como también variando el número de espiras.

En total fueron necesarias 8 diferentes combinaciones de las variables mencionadas. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

| %<br>sumergido | n  | D<br>[plg] | d                |                   | rpm | P<br>[psi] | Volumen<br>[gal] | t1<br>[min] | t2<br>[min] | t3<br>[min] | t4<br>[min] | t5<br>[min] | t                 |
|----------------|----|------------|------------------|-------------------|-----|------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
|                |    |            | Espiras<br>[plg] | Descarga<br>[plg] |     |            |                  |             |             |             |             |             | promedio<br>[min] |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4              | 3/4               | 2,3 | 5          | 5,28             | 14,2        | 14,3        | 14,2        | 14,2        | 14,3        | 14,23             |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4              | 1                 | 2,3 | 5          | 5,28             | 14,8        | 14,6        | 14,7        | 15,1        | 14,7        | 14,75             |
| 27,27          | 10 | 84         | 3/4              | 3/4               | 2,3 | 5          | 5,28             | 9,15        | 8,75        | 9,17        | 9,17        | 9,17        | 9,08              |
| 27,27          | 10 | 84         | 3/4              | 1                 | 2,3 | 5          | 5,28             | 10,1        | 9,8         | 9,6         | 9,7         | 9,8         | 9,80              |
| 27,27          | 12 | 86         | 1                | 3/4               | 2,3 | 5          | 5,28             | 14,3        | 14,6        | 14,8        | 14,5        | 14,5        | 14,53             |
| 27,27          | 12 | 86         | 1                | 1                 | 2,3 | 5          | 5,28             | 15          | 14          | 15          | 15,5        | 15,5        | 15,00             |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4+1            | 3/4               | 2,3 | 10         | 5,28             | 5           | 5,3         | 5,15        | 5           | 5,4         | 5,17              |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4+1            | 1                 | 2,3 | 10         | 5,28             | 9           | 8,75        | 9           | 9,3         | 9           | 9,01              |
|                |    |            |                  |                   |     |            |                  |             |             |             |             |             |                   |

Tabla 5.2 Datos tomados variando numero de espiras y diámetros de tuberías de espiral y descarga

### **5.1.2 Pruebas en un tanque con agua**

Estas pruebas se realizaron con el objetivo de variar la magnitud de la altura de descarga H y observar la altura máxima de capacidad que tiene el banco de pruebas.

Por cuestiones de mayor accesibilidad y facilidad en la toma de datos, esta prueba se la realizó en las instalaciones de la ESPE, utilizando la variación de altitud de los espacios verdes posteriores y el edificio central para variar la altura. Estas pruebas se realizaron el día Jueves 24 de Noviembre del 2011.

El movimiento de la rueda fue manual y lo más constante posible, así como el nivel de llenado del tanque.

El tanque era una caja grande de madera totalmente sellada, de las utilizadas para movilizar municiones militares. Este tanque es propiedad del Laboratorio de Motores del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, cuyo responsable, el Ing. Alberto Naranjo, muy amablemente nos prestó para realizar estas pruebas.

El tanque fue llenado desde una toma de agua potable con una manguera para jardín de ½"

El banco de pruebas junto con el tanque fue ubicado en el patio del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, junto al Laboratorio de Energías Renovables.



Fig. 5.6 Fotografías de pruebas con tanque en las instalaciones de la ESPE

Se utilizaron ambas espirales de 1" y de ¾". En la descarga se utilizó la de 1", pero que al solo ser de 16m, tuvo que ser ampliada con 103 m más de manguera transparente de ½".

Se obtuvieron los siguientes datos:

| H [plg] | rpm | t1 [min] | t2 [min] | t3 [min] | t4 [min] | t5 [min] | t promedio [min] |
|---------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| 0       | 1,5 | 4,8      | 5        | 4,75     | 5,15     | 4,9      | 4,92             |
| 160     | 1,5 | 5,67     | 5,67     | 5,67     | 5,67     | 5,67     | 5,67             |
| 225,59  | 1,5 | 6,35     | 6,8      | 6,2      | 6,5      | 6,5      | 6,47             |
| 292,53  | 1,5 | 7        | 7,2      | 6,8      | 7,2      | 7,15     | 7,07             |
| 428,74  | 1,5 | 7,25     | 7,05     | 7        | 7,5      | 7,2      | 7,2              |

Tabla 5.3 Datos tomados en pruebas en tanque con agua.

## 5.2 Análisis de datos y curvas características.

Analizamos los datos obtenidos en las primeras pruebas con los que primeramente procedemos a calcular el valor del caudal.

Los cálculos utilizando la primera fila de datos de la tabla 5.1 correspondientes al primer grupo de pruebas son los siguientes:

Tiempos en llenarse el recipiente tomados

$$t_1 := 22.50 \quad \text{min}$$

$$t_2 := 20.80 \quad \text{min}$$

$$t_3 := 21.75 \quad \text{min}$$

$$t_4 := 20.00 \quad \text{min}$$

$$t_5 := 23.00 \quad \text{min}$$

Tiempo Promedio

$$t := \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}$$

$$t = 21.61 \quad \text{min}$$

Volumen del recipiente

$$V_r := 20 \text{ lt}$$

$$V := 5.28 \text{ gal}$$

**Calculo de caudal:**

$$Q := \frac{V}{t}$$

$$Q = 0.244 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Este caudal, así como el resto resultados de caudal obtenidos utilizando los datos presentados en las tablas 4.1, 4.2 y 4.3, se presentan en las tablas 5.4, 5.5 y 5.6 respectivamente.

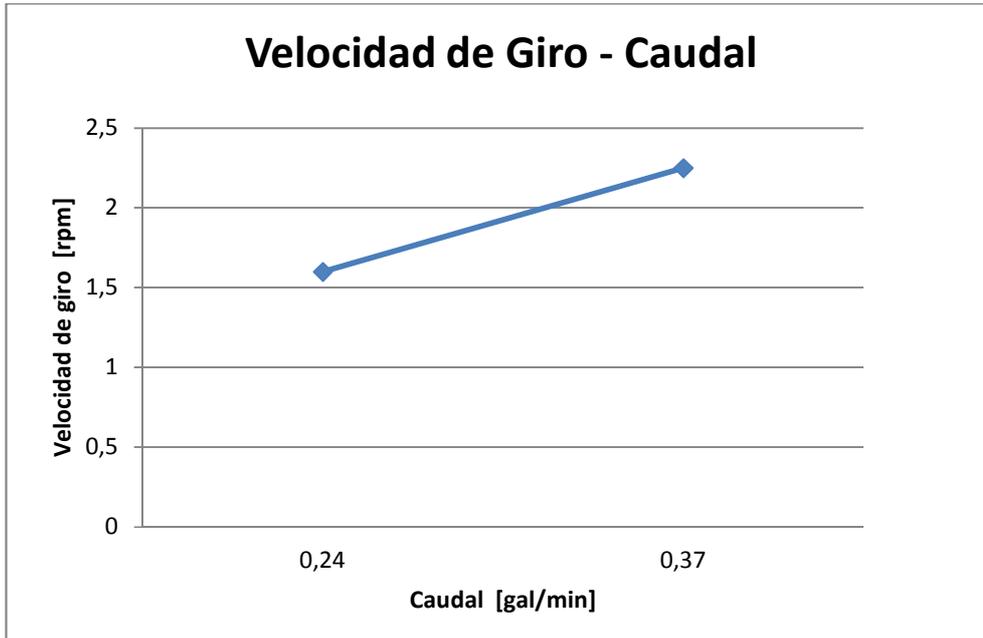
| %<br>sumergid | n  | D<br>[plg] | d Espiras<br>[plg] | d Descarga<br>[plg] | rpm  | P [psi] | V<br>[gal] | t<br>[min] | Caudal<br>[gal/min] |
|---------------|----|------------|--------------------|---------------------|------|---------|------------|------------|---------------------|
| 9,09          | 12 | 86         | 3/4                | 3/4                 | 1,6  | 2       | 5,28       | 21,61      | 0,24                |
| 27,27         | 12 | 86         | 3/4                | 1                   | 2,25 | 5       | 5,28       | 14,23      | 0,37                |

Tabla 5.4 Calculo de caudal con datos de las primeras pruebas.

Utilizando los datos obtenidos en la tabla 5.4, podemos obtener la primera curva característica para bombas de espiral. Dicha curva es de velocidad de giro de la rueda – caudal.

Como podemos observar en la figura presentada a continuación, la velocidad de giro y el caudal tienen una relación directamente proporcional y su grafica es representada por una línea recta.

Dicha grafica, es igual a la obtenida por Taylor P. [4], lo que demuestra que es correcta y que nuestros resultados son veraces y coherentes.



Grafica 5.1 Velocidad de giro - Caudal

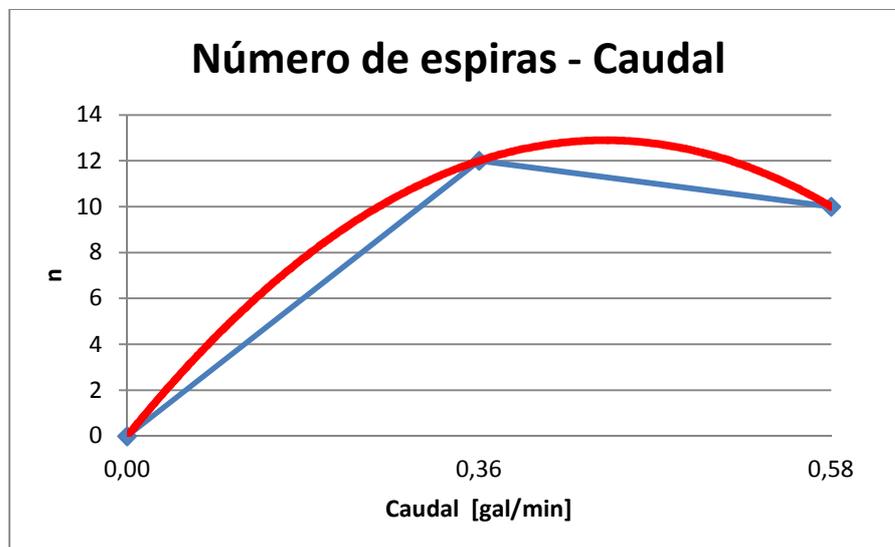
Con los datos expuestos en la tabla 5.2, correspondientes a las pruebas en el río variando número de espiras y diámetros de tuberías de espiral y de descarga; se procedió a calcular el caudal.

| %<br>sumergido | n  | D<br>[plg] | d Espiras<br>[plg] | d Descarga<br>[plg] | rpm  | P<br>[psi] | Volumen<br>[gal] | t<br>[min] | Caudal<br>[gal/min] |
|----------------|----|------------|--------------------|---------------------|------|------------|------------------|------------|---------------------|
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4                | 3/4                 | 2,25 | 5          | 5,28             | 14,23      | 0,37                |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4                | 1                   | 2,25 | 5          | 5,28             | 14,75      | 0,36                |
| 27,27          | 10 | 84         | 3/4                | 3/4                 | 2,25 | 5          | 5,28             | 9,08       | 0,58                |
| 27,27          | 10 | 84         | 3/4                | 1                   | 2,25 | 5          | 5,28             | 9,8        | 0,54                |
| 27,27          | 12 | 86         | 1                  | 3/4                 | 2,25 | 5          | 5,28             | 14,53      | 0,36                |
| 27,27          | 12 | 86         | 1                  | 1                   | 2,25 | 5          | 5,28             | 15         | 0,35                |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4+1              | 3/4                 | 2,25 | 10         | 5,28             | 5,17       | 1,02                |
| 27,27          | 12 | 86         | 3/4+1              | 1                   | 2,25 | 10         | 5,28             | 9,01       | 0,59                |

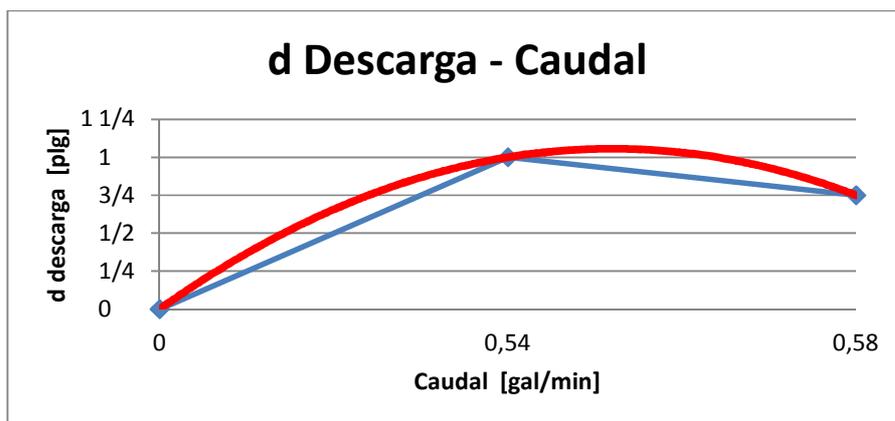
Tabla 5.5 Calculo de caudal con datos de pruebas realizadas variando números de espiras y diámetros de tuberías de espiral y descarga

Con los cálculos obtenidos en la tabla 5.5 se puede graficar la relación existente entre el número de espiras y el caudal.

Como se puede observar en la gráfica 5.2 mostrada a continuación, estas dos magnitudes tienen una curva que termina en una relación inversamente proporcional, igual a la expuesta por Sadek Z. Kassab [13], lo cual tiene lógica, ya que a mayor número de espiras, tenemos una mayor presión y por lo tanto se disminuye la velocidad del fluido, lo cual también se puede observar en las tablas de resultados de Taylor P [4]; demostrando así que los resultados obtenidos son veraces y coherentes.



Grafica 5.2 Relación entre número de espiras - Caudal



Grafica 5.3 Relación d Descarga – Caudal

Como se puede observar en la grafica 5.3, también se graficó la relación existente entre el diámetro interno de la manguera de descarga y el caudal; estas dos magnitudes tienen una grafica que termina en una relación inversamente proporcional. Lo cual, de igual manera que en la grafica anterior, se debe a que a mayor diámetro de tubería de descarga, también se presenta mayores presiones, por lo tanto menores velocidades, lo cual también se puede observar en el análisis de Tailor P [4]; resultando así los resultados obtenidos veraces y coherentes.

Cabe recalcar que observando detenidamente la tabla 5.2, se notó que prácticamente no existe una variación de los valores obtenidos de caudal, al variar el diámetro de la manguera de la espiral; por lo que se concluye que no afectamos al caudal variando el diámetro de la manguera de la espira comprobando lo afirmado por Tailer [4], donde dice que para las espirales podemos escoger el diámetro de manguera más cómodo.

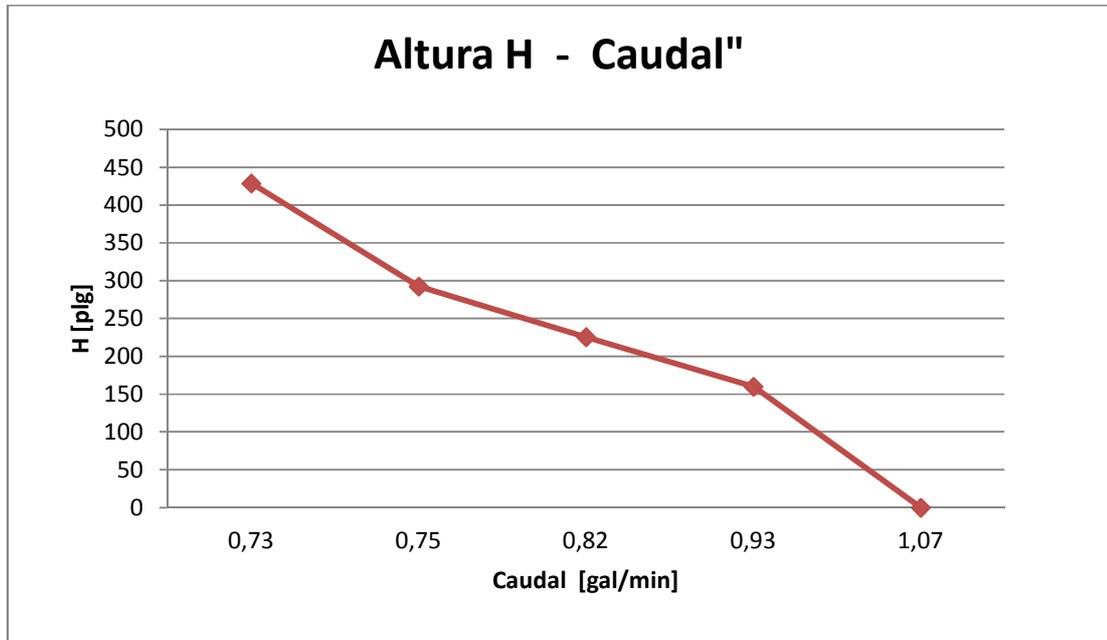
Finalmente utilizando los datos obtenidos en la tabla 5.3, correspondientes a las pruebas realizadas en un tanque de agua y variando la altura, se calcularon los valores correspondientes al caudal..

| H [plg] | rpm | V (gal) | t [min] | Caudal [gal/min] |
|---------|-----|---------|---------|------------------|
| 0       | 1,5 | 5,28    | 4,92    | 1,07             |
| 160     | 1,5 | 5,28    | 5,67    | 0,93             |
| 225,59  | 1,5 | 5,28    | 6,47    | 0,82             |
| 292,53  | 1,5 | 5,28    | 7,07    | 0,75             |
| 428,74  | 1,5 | 5,28    | 7,2     | 0,73             |

Tabla 5.6 Calculo de caudal con datos de pruebas variando la altura H

Con los datos obtenidos en la tabla 5.6, se realizó la grafica altura – Caudal mostrada a continuación en la grafica 5.4, en la que podemos observar la forma parabólica de esta relación, la misma que es la forma característica de la relación altura – caudal para cualquier bomba, según lo afirmado en el tutorial

de bombas [12], con lo cual se confirma la veracidad y coherencia de los resultados obtenidos.



Grafica 5.4 Curva altura – Caudal

A continuación, se procedió a calcular los valores de eficiencia para cada una de las diferentes combinaciones de magnitudes con las que se ha venido trabajando en el presente capítulo.

Dichos cálculos se obtuvieron utilizando las ecuaciones detalladas en el marco teórico expuesto en el capítulo 2 del presente documento, del mismo que las ecuaciones 2.14 a la 2.22 son las expresiones para obtener la eficiencia de una bomba en espiral.

Primeramente entonces obtendremos la eficiencia utilizando los datos de las tablas 5.1 y 5.4.

Altura de descarga H

$$H := 20 \quad \text{ft}$$

Densidad del agua:

$$\rho := 8.34 \frac{\text{lb}}{\text{gal}}$$

Calculo de trabajo de salida:

$$W_{\text{salida}} := \rho \cdot V \cdot H$$

$$W_{\text{salida}} = 880.704 \quad \text{lb} - \text{pie}$$

Velocidad angular de la rueda

$$\text{rpm} := 1.6 \quad \text{rpm}$$

$$\omega := \text{rpm} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Radio medido desde el centro de rueda

$$r := 3.85 \quad \text{pie}$$

Calculo de velocidad v

$$v := \omega \cdot r$$

$$v = 0.645 \quad \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

$$v_2 := v$$

$$v_1 := 0$$

$$\Delta v := v_2 - v_1$$

$$\Delta v = 0.645 \quad \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

Calculo de la fuerza F

$$F := \rho \cdot Q \cdot \Delta v$$

$$F = 1.314 \quad \text{lbf.}$$

Numero de revoluciones en tiempo en llenarse el recipiente

$$\text{rev} := \text{rpm} \cdot t$$

$$\text{rev} = 34.576 \quad \text{rev}$$

Diámetro externo de rueda D

$$D := 7.17 \quad \text{pie}$$

Calculo de Trabajo de entrada

$$W_{\text{entrada}} := F \cdot \pi \cdot \text{rev} \cdot D$$

$$W_{\text{entrada}} = 1.024 \times 10^3 \quad \text{lb} - \text{pie}$$

**Calculo de eficiencia n:**

$$n := \frac{W_{\text{salida}}}{W_{\text{entrada}}}$$

$$\eta := n \cdot 100$$

$$n = 86.026 \quad \%$$

Esta eficiencia, así como el resto resultados de eficiencia obtenidos utilizando los datos presentados en las tablas 5.4, 5.5 y 5.6, se presentan en las tablas 5.7, 5.8 y 5.9 respectivamente.

| Volumen<br>[gal] | H<br>[ft] | $\rho$<br>[lb/gal] | Wsalida<br>[lb-pie] | $\omega$<br>rpm | $\omega$<br>rad/s | r<br>[ft] | $\Delta v$ | Q<br>[gal/min] | F [lb] | Rev   | D<br>[pie] | Wentrada<br>[lb-pie] | Eficiencia<br>% |
|------------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------|------------|----------------|--------|-------|------------|----------------------|-----------------|
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 1,6             | 0,17              | 3,9       | 0,64       | 0,24           | 1,31   | 34,58 | 7,17       | <b>1023,36</b>       | <b>86,06</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,24              | 3,9       | 0,91       | 0,37           | 2,80   | 32,03 | 7,17       | <b>2023,73</b>       | <b>43,52</b>    |

Tabla 5.7 Cálculos de Eficiencia con los datos obtenidos en las pruebas en el río variando el porcentaje del sumergido

A continuación se obtienen las eficiencias con los datos expuestos en las tablas 5.2 y 5.5, los mismos que corresponden a datos tomados en pruebas en

el río variando el número de espiras y los diámetros de la manguera del espiral y de la descarga.

| Volumen<br>[gal] | H<br>[ft] | $\rho$<br>[lb/gal] | Wsalida<br>[lb-pie] | $\omega$<br>rpm | $\omega$<br>rad/s | r<br>[ft] | $\Delta v$ | Q<br>[gal/min] | F<br>[lb] | Rev   | D<br>[pie] | Wentrada<br>[lb-pie] | Eficiencia<br>% |
|------------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------|------------|----------------|-----------|-------|------------|----------------------|-----------------|
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,37           | 2,80      | 32,03 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,36           | 2,71      | 33,19 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,58           | 4,40      | 20,43 | 7          | <b>1975,53</b>       | <b>44,58</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,54           | 4,08      | 22,04 | 7          | <b>1975,53</b>       | <b>44,58</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,36           | 2,75      | 32,69 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,35           | 2,66      | 33,75 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 1,02           | 7,72      | 11,63 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |
| 5,28             | 20        | 8,34               | <b>880,70</b>       | 2,3             | 0,2355            | 3,85      | 0,91       | 0,59           | 4,43      | 20,27 | 7,17       | <b>2023,50</b>       | <b>43,52</b>    |

Tabla 5.8 Cálculos de Eficiencia con los datos tomados en pruebas en el río variando número de espiras y diámetros internos de la manguera del espiral y de la descarga.

Y finalmente se obtienen las eficiencias con los datos expuestos en las tablas 5.3 y 5.6, los mismos que corresponden a los datos tomados en las pruebas en el tanque con agua variando la altura de descarga H.

| Volumen<br>[gal] | H<br>[ft] | $\rho$<br>[lb/gal] | Wsalida<br>[lb-pie] | $\omega$<br>rpm | F [lb] | Rev   | D<br>[pie] | Wentrada<br>[lb-pie] | Eficiencia<br>% |
|------------------|-----------|--------------------|---------------------|-----------------|--------|-------|------------|----------------------|-----------------|
| 5,28             | 0         | 8,34               | <b>0,00</b>         | 1,5             | 10,00  | 7,38  | 7,17       | <b>1662,37</b>       | <b>0,00</b>     |
| 5,28             | 13        | 8,34               | <b>586,99</b>       | 1,5             | 10,00  | 8,51  | 7,17       | <b>1915,77</b>       | <b>30,64</b>    |
| 5,28             | 19        | 8,34               | <b>827,86</b>       | 1,5             | 10,00  | 9,71  | 7,17       | <b>2186,08</b>       | <b>37,87</b>    |
| 5,28             | 24        | 8,34               | <b>1073,14</b>      | 1,5             | 10,00  | 10,61 | 7,17       | <b>2388,81</b>       | <b>44,92</b>    |
| 5,28             | 36        | 8,34               | <b>1573,38</b>      | 1,5             | 10,00  | 10,80 | 7,17       | <b>2432,73</b>       | <b>64,68</b>    |

Tabla 5.9 Cálculos de Eficiencia con los datos tomados en pruebas en el tanque variando la altura de descarga.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

#### 6.1 Análisis de costos del presente proyecto:

Para analizar los costos que tuvo el proyecto, se verificó cada factura de los materiales comprados para la realización del mismo.

De cada una de las facturas se analizó el costo de cada material y los respectivos impuestos generados. Este detalle se encuentra en la tabla 6.1 expuesta en la siguiente hoja.

Se separó los costos correspondientes a la rueda, los correspondientes a la estructura de soporte y los correspondientes a gastos varios como transporte y de logística.

Dentro del gasto expuesto en la estructura, se incluyen los materiales, mano de obra, accesorios y terminados correspondientes a la misma.

En gastos varios se detalla costo por transporte, el mismo que corresponde al total de varios servicios contratados en diferentes días.

De la misma manera, en gastos varios se indica un costo por peones, el mismo que corresponde al total de varios servicios contratados para que ayuden a levantar, armar, desarmar, movilizar, meter al río, etc. Además de la ayuda necesaria para las diferentes pruebas realizadas.

El detalle se encuentra a continuación en la tabla 6.1.

| COSTO DE BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBA DE ESPIRAL .    |                 |                        |          |                         |               |              |                 |
|--|-----------------|------------------------|----------|-------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| COSTO DE RUEDA                                       |                 |                        |          |                         |               |              |                 |
| Fecha  | Factura         | Proveedor              | Und.     | Detalle                 | Valor         | Iva          | Total           |
| 08-sep-11  | 004002000109419 | Dipac - Productos de   | 7.28 Kg. | Platinas X 8 mm.        | 25,06         | 3,01         | 28,07           |
| 13-sep-11  | 004002000109760 | Dipac - Productos de   | 1        | Eje de 60 cm. De 1 1/2" | 11,28         | 1,35         | 12,63           |
| 13-sep-11  | 001001000540008 | Importadora Orbea Cía  | 2        | Chumacera de Piso de 1  | 17,59         | 2,11         | 19,70           |
| 22-sep-11  | 001001000006341 | Profesionales en       | 32       | Pernos de 3/8 (remos)   | 13,71         | 1,65         | 15,36           |
| 19-sep-11  | 001002000005058 | Mundi Pernos           | 16       | Pernos Acero 5/8 x5     | 32,14         | 3,86         | 36,00           |
| 19-sep-11  | 001002000005058 | Mundi Pernos           | 2        | Prisionero Negro de 3/8 | 0,45          | 0,05         | 0,50            |
| 11-nov-11  | 001001000020400 | Jara Guevara Máximo    | 1        | Acople Industrial 12-   | 21,25         | 2,55         | 23,80           |
| 22-sep-11  | 001001000000001 | Aserradero             | 16 tiras | Vigas en tiras Madera   | 12,00         | 1,44         | 13,44           |
| 22-sep-11  | 001001000000001 | Aserradero             | 8        | Tablero Madera Sevke    | 4,46          | 0,54         | 5,00            |
| 02-sep-11  | 001001000027299 | Sumhidro Galo Gonzalez | 100 m.   | Manguera para agua 3/4  | 48,00         | 5,76         | 53,76           |
|  |                 | Sumhidro Galo Gonzalez | 72 m.    | Manguera para agua de   | 46,08         | 5,53         | 51,61           |
|  |                 | Sumhidro Galo Gonzalez | 12 m.    | Manguera para agua de   | 53,78         | 6,45         | 60,23           |
|  |                 | Sumhidro Galo Gonzalez | 100 m.   | Manguera para agua de   | 56,25         | 6,75         | 63,00           |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 0,50 m.  | Manguera transparente   | 1,43          | 0,17         | 1,60            |
| 22-sep-11  | 098055000029937 | Corporación el Rosado  | 10 m.    | Alambre Galvanizado     | 0,31          | 0,04         | 0,35            |
| 19-oct-11  | 002001000117977 | Disferr                | 1/4 gal  | Sellador laca madera    | 4,96          | 0,60         | 5,56            |
| 29-oct-11  | 008006000131785 | Comercial Kiwy SA      | 4        | Amarracable de 12" x4   | 9,48          | 1,14         | 10,62           |
| 02-sep-11  | 001001000027299 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Neplo Flex3/4           | 1,40          | 0,17         | 1,57            |
| 02-sep-11  | 001001000027299 | Sumhidro Galo Gonzalez | 5        | Abrazadera 3/4 titan    | 3,24          | 0,39         | 3,63            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 3        | Abrazaderas de 3/4      | 1,62          | 0,19         | 1,81            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Unión red polimex1x3/4  | 0,99          | 0,12         | 1,11            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Neplo Flex3/4           | 0,70          | 0,08         | 0,78            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 3        | Unión Flexde 3/4        | 1,98          | 0,24         | 2,22            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Neplo flexde 1          | 1,16          | 0,14         | 1,30            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Unión flexde 1          | 0,69          | 0,08         | 0,77            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Neplo flexde 2          | 5,60          | 0,67         | 6,27            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Reducción flex 1 a 3/4  | 2,33          | 0,28         | 2,61            |
| 12-nov-11  | 001001000030804 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Reducción flexde 2 a 1  | 7,58          | 0,91         | 8,49            |
| 16-nov-11  | 001001000031000 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Unión Red Polimex1 x    | 1,03          | 0,12         | 1,15            |
| 12-nov-11  | 001001000030806 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Unión Polimex3/4        | 0,51          | 0,06         | 0,57            |
| 12-nov-11  | 001001000030806 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Tee Polimex3/4          | 0,84          | 0,10         | 0,94            |
| 12-nov-11  | 001001000030806 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Bush Polimex3/4 x1/2    | 0,20          | 0,02         | 0,22            |
| 12-nov-11  | 001001000030806 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Neplo flex3/4           | 1,40          | 0,17         | 1,57            |
| 12-nov-11  | 001001000030806 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Neplo flexde 1          | 1,16          | 0,14         | 1,30            |
| 19-nov-11  | 001001000031181 | Sumhidro Galo Gonzalez | 4        | Válvula bola 3/4        | 17,05         | 2,05         | 19,10           |
| 19-nov-11  | 001001000031181 | Sumhidro Galo Gonzalez | 7        | Abrazaderas de 2 titan  | 1,90          | 0,23         | 2,13            |
| 19-nov-11  | 001001000031181 | Sumhidro Galo Gonzalez | 6        | Neplo Polimex3/4 con    | 2,40          | 0,29         | 2,69            |
| 19-nov-11  | 001001000031181 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Tee Polimex3/4          | 1,86          | 0,22         | 2,08            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Válvula bola 3/4        | 4,70          | 0,56         | 5,26            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Codo Cachimba polimex   | 1,05          | 0,13         | 1,18            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Bush Polimex2 x3/4      | 3,78          | 0,45         | 4,23            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Neplo flex3/4           | 1,40          | 0,17         | 1,57            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Te PVC3/4               | 0,88          | 0,11         | 0,99            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Unión PVC3/4 de 2       | 1,65          | 0,20         | 1,85            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Tapón de 2              | 2,37          | 0,28         | 2,65            |
| 22-nov-11  | 001001000031303 | Sumhidro Galo Gonzalez | 1        | Neplo PVC3/4 x6 cm      | 0,60          | 0,07         | 0,67            |
| 24-nov-11  | 001001000031421 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Tapón polimexde 2       | 6,48          | 0,78         | 7,26            |
| 24-nov-11  | 001001000031421 | Sumhidro Galo Gonzalez | 2        | Unión flexde 1/2        | 0,60          | 0,07         | 0,67            |
|  |                 | Mano de Obra Torno     |          |                         | 60,00         |              | 60,00           |
| <b>SUBTOTAL RUEDA</b>                                |                 |                        |          |                         | <b>497,38</b> | <b>52,49</b> | <b>549,87</b>   |
| COSTO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA BANCO DE PRUEBAS |                 |                        |          |                         |               |              |                 |
| Fecha  | Factura         | Proveedor              | Und.     | Detalle                 | Valor         | Iva          | Total           |
| 27-oct-11  | 001001000000001 | Hierrotecna-Jaime      | 1        | Estructura para Bomba   | 285,71        | 34,29        | 320,00          |
| <b>SUBTOTAL ESTRUCTURA</b>                           |                 |                        |          |                         | <b>285,71</b> | <b>34,29</b> | <b>320,00</b>   |
| GASTOS VARIOS  |                 |                        |          |                         |               |              |                 |
| Fecha  | Factura         | Proveedor              | Und.     | Detalle                 | Valor         | Iva          | Total           |
| 21 Y 22  |                 |                        |          | Transportes             | 40,00         | 0,00         | 40,00           |
| 21 Y 22  |                 |                        |          | Peones                  | 200,00        | 0,00         | 200,00          |
| <b>SUBTOTAL GASTOS VARIOS</b>                        |                 |                        |          |                         | <b>240,00</b> | <b>0,00</b>  | <b>240,00</b>   |
| <b>TOTAL COSTO BANCO DE PRUEBAS</b>                  |                 |                        |          |                         |               |              | <b>1.109,86</b> |

Tabla 6.1 Costos totales del proyecto.

## **6.2 Análisis económico de bombas de espiral.**

Dado el hecho de que el presente proyecto trata exclusivamente de un banco de pruebas para el estudio de bombas en espiral, se aclara que los costos correspondientes a la construcción del banco son mucho más elevados que los que corresponderían para únicamente construir una bomba.

Por lo tanto, se analizará el costo de una bomba en espiral de similares dimensiones, acabados y características de las analizadas en el banco y la compararemos con dos bombas que usan energía eléctrica para su funcionamiento. Se comparará usando la misma altura H de descarga y de acuerdo al caudal que arrojaría la bomba en un día entero de trabajo, según los datos expuestos en las tablas 5.3, 5.4 y 5.5, estimamos que la bomba de luz debería trabajar tres horas diarias para arrojar dicho caudal diario.

No se analizarán las bombas que funcionan a gasolina, debido a que su costo de compra es igual o superior al de una bomba en espiral, además de su alto costo de constante mantenimiento y de operación que tienen estas bombas, resulta un costo mucho más alto comparado con una bomba en espiral que tiene muy bajo costo de mantenimiento anual, además de su costo cero de operación.

Para sacar un costo aproximado de dicha bomba en espiral, se analizará uno por uno los costos del banco presentados en la tabla 6.1 y se detallará en otra columna únicamente los gastos que corresponderían para la construcción de la bomba, en unos casos se requerirá menos cantidad de material, por lo que se presentará únicamente el valor correspondiente a la bomba, mientras que en otros casos no se requerirá de ese material para la bomba, por lo que se dará un valor de cero.

Dicho detalle se encuentra en la tabla 6.2 presentada a continuación:

|   | BANCO DE PRUEBAS | BOMBA DE ESPIRAL di 3/4" |
|---|------------------|--------------------------|
| Detalle   | Total            | Total                    |
| Oxicortes de 300 mm. Diámetro X 8 mm. Espesor (3 und)   | 28,07            | 18,71                    |
| Eje de 60 cm. De 1 1/2" Acero frio                      | 12,63            | 8                        |
| Chumacera de Piso de 1 1/2                              | 19,70            | 12,00                    |
| Pernos de 3/8 (remos)                                   | 15,36            | 7,68                     |
| Pernos Acero 5/8 x5                                     | 36,00            | 10,00                    |
| Prisionero Negro de 3/8 x3/4                            | 0,50             | 0,50                     |
| Acople Industrial 12-12MPX90                            | 23,80            | 23,80                    |
| Vigas en tiras Madera Colorada de 2,40 m de largo       | 13,44            | 6,22                     |
| Tablero Madera Seyke de 1.52 m. largo x0.30 cm ancho    | 5,00             | 5,00                     |
| Manguera para agua 3/4 negra (68m.espiras,              | 53,76            | 53,76                    |
| Manguera para agua de 1 negra (68m.espiras, 4 descarga) | 51,61            | 0                        |
| Manguera para agua de 1 transparente (descarga)         | 60,23            | 0                        |
| Manguera para agua de 1/2 transparente (descarga)       | 63,00            | 0                        |
| Manguera transparente 3/4                               | 1,60             | 1,60                     |
| Alambre Galvanizado                                     | 0,35             | 0,35                     |
| Sellador laca madera vernin                             | 5,56             | 5,56                     |
| Amarracable de 12" x4 mm.                               | 10,62            | 5,31                     |
| Neplo Flex3/4   | 1,57             | 1,57                     |
| Abrazadera 3/4 titan                                    | 3,63             | 3,63                     |
| Abrazaderas de 3/4 Titan                                | 1,81             | 1,81                     |
| Unión red polimex 1x3/4                                 | 1,11             | 0                        |
| Neplo Flex3/4   | 0,78             | 0,78                     |
| Unión Flex de 3/4                                       | 2,22             | 0                        |
| Neplo flex de 1   | 1,30             | 0                        |
| Unión flex de 1   | 0,77             | 0                        |
| Neplo flex de 2   | 6,27             | 0                        |
| Reducción flex 1 a 3/4                                  | 2,61             | 0                        |
| Reducción flex de 2 a 1                                 | 8,49             | 4,25                     |
| Unión Red Polimex 1 x3/4                                | 1,15             | 0                        |
| Unión Polimex 3/4                                       | 0,57             | 0,57                     |
| Tee Polimex 3/4   | 0,94             | 0                        |
| Bush Polimex 3/4 x 1/2                                  | 0,22             | 0                        |
| Neplo flex 3/4  | 1,57             | 1,57                     |
| Neplo flex de 1   | 1,30             | 0                        |
| Válvula bola 3/4  | 19,10            | 0                        |
| Abrazaderas de 2 titan                                  | 2,13             | 1,21                     |
| Neplo Polimex 3/4 con tuerca                            | 2,69             | 2,69                     |
| Tee Polimex 3/4   | 2,08             | 0                        |
| Válvula bola 3/4  | 5,26             | 0                        |
| Codo Cachimba polmex 3/4                                | 1,18             | 0                        |
| Bush Polimex 2 x3/4                                     | 4,23             | 0                        |
| Neplo flex 3/4  | 1,57             | 1,57                     |
| Te PVC 3/4  | 0,99             | 0                        |
| Unión PVC de 2  | 1,85             | 0                        |
| Tapón de 2  | 2,65             | 0                        |
| Neplo PVC 3/4 x6 cm                                     | 0,67             | 0                        |
| Tapón polimex de 2                                      | 7,26             | 0                        |
| Unión flex de 1/2                                       | 0,67             | 0                        |
| Costo de trabajos en torno                              | 60,00            | 20,00                    |
|   |                  | <b>198,14</b>            |

Tabla 6.2 Costos estimados de una bomba de similar magnitud y calidad a las analizadas en el banco de pruebas.

A continuación se presenta un detalle de dos modelos de bombas eléctricas presentes en el mercado, las mismas que serán objeto de nuestro análisis y comparación con la bomba de espiral.

| Proveedor                 | Und. | Detalle               | Valor  | Iva   | Total         |
|---------------------------|------|-----------------------|--------|-------|---------------|
| Pintulac                  | 1    | <b>BOMBA JET</b>      | 63,38  | 7,61  | <b>70,99</b>  |
|                           |      | Monofásico 110/220    |        |       |               |
|                           |      | Boca 1"               |        |       |               |
|                           |      | Altura 38 m.          |        |       |               |
|                           |      | Flujo max 40 lpm      |        |       |               |
| Potencia 0.45 kw - 0,6 hp |      |                       |        |       |               |
| Pintulac                  | 1    | <b>BOMBA PEDROLLO</b> | 130,00 | 15,60 | <b>145,60</b> |
|                           |      | 1 F-110 V             |        |       |               |
|                           |      | Boca 1"               |        |       |               |
|                           |      | Altura 38 m.          |        |       |               |
|                           |      | Flujo max 40 lpm      |        |       |               |
| Potencia 0.37 Kw - 0.5 hp |      |                       |        |       |               |

Tabla 6.3 Precios de bombas eléctricas utilizadas en este análisis.

La primera de estas bombas es una marca Jet, muy económica pero de una marca poco conocida, por lo tanto se desconoce de su calidad y tiempo de vida útil, así como la disponibilidad de repuestos.

La segunda bomba, es de una buena marca más conocida por lo tanto cuenta con mayor confianza y respaldo. Su precio casi dobla el precio de la otra bomba, pero estas bombas son más vendidas y conocidas en el mercado.

A continuación se presenta en la siguiente tabla 6.4, los costos anual y mensual de energía eléctrica de las bombas eléctricas. [10]

| <b>CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DE BOMBAS DE AGUA</b> |                    |                      |                     |                              |                            |
|---|--------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>BOMBA</b>  | <b>CONSUMO KWh</b> | <b>COSTO POR Kwh</b> | <b>TIEMPO 3h*30</b> | <b>COSTO MENSUAL ENERGIA</b> | <b>COSTO ANUAL ENERGIA</b> |
| JET   | 0,45               | 0,07226519           | 90,00               | 2,93                         | 35,12                      |
| PEDROLLO  | 0,37               | 0,07226519           | 90,00               | 2,41                         | 28,88                      |

Tabla 6.4 Consumo mensual y anual de bombas eléctricas.

A continuación también se tomará en cuenta los costos de accesorios y adicionales necesarios para poner a funcionar las bombas eléctricas, esto considerando que rubros del mismo tipo constan en los cálculos de la bomba en espiral.

| <b>BOMBA JET</b>  |              |            |              | <b>Descarga Manguera de 3/4"</b> | <b>Descarga Manguera de 1"</b> |
|---|--------------|------------|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Detalle</b>  | <b>Valor</b> | <b>Iva</b> | <b>Total</b> | <b>Total</b>                     | <b>Total</b>                   |
| Bomba Jet E   | 63,38        | 7,61       | 70,99        | 70,99                            | 70,99                          |
| Extensión El  | 17,86        | 2,14       | 20,00        | 15,00                            | 15,00                          |
| Manguera para agua 3/4 negra (32m.descarga)             | 15,36        | 1,84       | 17,20        | 17,20                            |                                |
| Manguera para agua de 1 negra (68m.espiras, 4 descarga) | 20,48        | 2,46       | 22,94        |                                  | 22,94                          |
|   |              |            |              | <b>103,19</b>                    | <b>108,93</b>                  |
| <b>BOMBA PEDROLLO</b>                                   |              |            |              | <b>Manguera de 3/4</b>           | <b>Manguera de 1</b>           |
| <b>Detalle</b>  | <b>Valor</b> | <b>Iva</b> | <b>Total</b> | <b>Total</b>                     | <b>Total</b>                   |
| Bomba Pedr  | 130,00       | 15,60      | 145,60       | 145,60                           | 145,60                         |
| Extensión El  | 17,86        | 2,14       | 20,00        | 15,00                            | 15,00                          |
| Manguera para agua 3/4 negra (32m.descarga)             | 15,36        | 1,84       | 17,20        | 17,20                            |                                |
| Manguera para agua de 1 negra (68m.espiras, 4 descarga) | 20,48        | 2,46       | 22,94        |                                  | 22,94                          |
|   |              |            |              | <b>177,80</b>                    | <b>183,54</b>                  |

Tabla 6.5 Costos estimados de accesorios y adicionales necesarios para las bombas eléctricas

A continuación se presenta en la tabla 6.6, los costos totales de cada bomba detallado mes por mes.

| MES | BOMBA ESPIRAL | BOMBA PEDROLLO | BOMBA JET     | OBSERVACIONES                    |
|-----|---------------|----------------|---------------|----------------------------------|
| 0   | 198,14        | 177,80         | 103,19        | Compra e instalación             |
| 1   | 198,14        | 180,21         | 106,12        | Costos operación y mantenimiento |
| 2   | 198,14        | 182,62         | 109,05        | Costos operación y mantenimiento |
| 3   | 198,14        | 185,03         | 111,98        | Costos operación y mantenimiento |
| 4   | 198,14        | 187,44         | 114,91        | Costos operación y mantenimiento |
| 5   | 198,14        | 189,85         | 117,84        | Costos operación y mantenimiento |
| 6   | 198,14        | 192,26         | 120,77        | Costos operación y mantenimiento |
| 7   | 198,14        | 194,67         | 123,70        | Costos operación y mantenimiento |
| 8   | 198,14        | 197,08         | 126,63        | Costos operación y mantenimiento |
| 9   | <b>198,14</b> | <b>199,49</b>  | 129,56        | Costos operación y mantenimiento |
| 10  | 198,14        | 201,90         | 132,49        | Costos operación y mantenimiento |
| 11  | 198,14        | 204,31         | 135,42        | Costos operación y mantenimiento |
| 12  | 208,14        | 206,72         | 138,35        | Costos operación y mantenimiento |
| 13  | 208,14        | 209,13         | 141,28        | Costos operación y mantenimiento |
| 14  | 208,14        | 211,54         | 144,21        | Costos operación y mantenimiento |
| 15  | 208,14        | 213,95         | 147,14        | Costos operación y mantenimiento |
| 16  | 208,14        | 216,36         | 150,07        | Costos operación y mantenimiento |
| 17  | 208,14        | 218,77         | 153,00        | Costos operación y mantenimiento |
| 18  | 208,14        | 221,18         | 155,93        | Costos operación y mantenimiento |
| 19  | 208,14        | 223,59         | 158,86        | Costos operación y mantenimiento |
| 20  | 208,14        | 226,00         | 161,79        | Costos operación y mantenimiento |
| 21  | 208,14        | 228,41         | 164,72        | Costos operación y mantenimiento |
| 22  | 208,14        | 230,82         | 167,65        | Costos operación y mantenimiento |
| 23  | 208,14        | 233,23         | 170,58        | Costos operación y mantenimiento |
| 24  | 218,14        | 235,64         | 173,51        | Costos operación y mantenimiento |
| 25  | 218,14        | 238,05         | 176,44        | Costos operación y mantenimiento |
| 26  | 218,14        | 240,46         | 179,37        | Costos operación y mantenimiento |
| 27  | 218,14        | 242,87         | 182,30        | Costos operación y mantenimiento |
| 28  | 218,14        | 245,28         | 185,23        | Costos operación y mantenimiento |
| 29  | 218,14        | 247,69         | 188,16        | Costos operación y mantenimiento |
| 30  | 218,14        | 250,10         | 191,09        | Costos operación y mantenimiento |
| 31  | 218,14        | 252,51         | 194,02        | Costos operación y mantenimiento |
| 32  | 218,14        | 254,92         | 196,95        | Costos operación y mantenimiento |
| 33  | 218,14        | 257,33         | 199,88        | Costos operación y mantenimiento |
| 34  | 218,14        | 259,74         | 202,81        | Costos operación y mantenimiento |
| 35  | 218,14        | 262,15         | 205,74        | Costos operación y mantenimiento |
| 36  | 228,14        | 264,56         | 208,67        | Costos operación y mantenimiento |
| 37  | 228,14        | 266,97         | 211,60        | Costos operación y mantenimiento |
| 38  | 228,14        | 269,38         | 214,53        | Costos operación y mantenimiento |
| 39  | 228,14        | 271,79         | 217,46        | Costos operación y mantenimiento |
| 40  | 228,14        | 274,20         | 220,39        | Costos operación y mantenimiento |
| 41  | 228,14        | 276,61         | 223,32        | Costos operación y mantenimiento |
| 42  | 228,14        | 279,02         | 226,25        | Costos operación y mantenimiento |
| 43  | <b>228,14</b> | 281,43         | <b>229,18</b> | Costos operación y mantenimiento |
| 44  | 228,14        | 283,84         | 232,11        | Costos operación y mantenimiento |
| 45  | 228,14        | 286,25         | 235,04        | Costos operación y mantenimiento |
| 46  | 228,14        | 288,66         | 237,97        | Costos operación y mantenimiento |
| 47  | 228,14        | 291,07         | 240,90        | Costos operación y mantenimiento |
| 48  | 238,14        | 293,48         | 243,83        | Costos operación y mantenimiento |

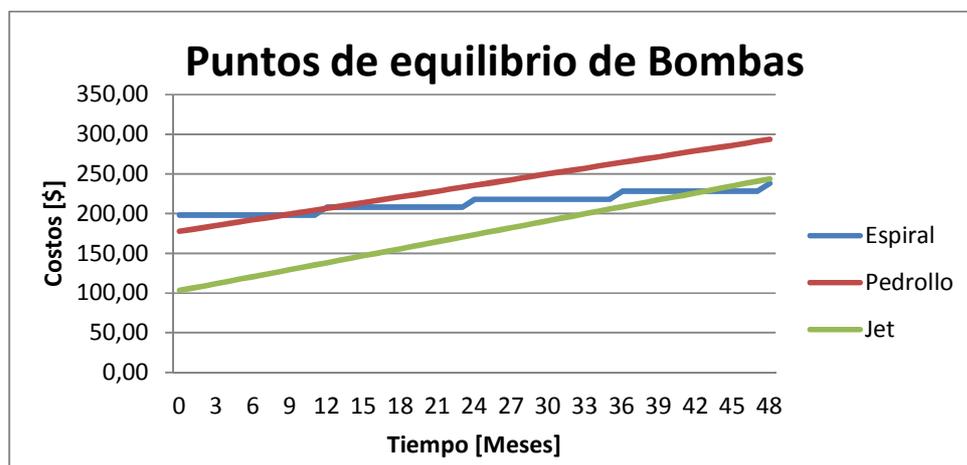
Tabla 6.6 Detalle de costos totales mensuales de cada bomba

Como se puede observar en la tabla 5.6 la bomba de espiral empieza a ser más rentable a partir del octavo mes respecto con la bomba Pedrollo; este punto de equilibrio también puede ser observado en la grafica 5.1 en la que se ilustra la relación entre costos de operación respecto al tiempo de vida llegando a ser esta una comparación costo – beneficio de las distintas bombas.

Esto indica que es una muy buena inversión la bomba en espiral.

En cuanto a la bomba Jet, dicho punto se encuentra en el mes 43, o sea que la bomba de espiral sería más rentable a partir del mes 43; esto sería una relación muy teórica, tomando en cuenta la cuestionable calidad y durabilidad de productos que se venden muy baratos; por lo que quedaría una incertidumbre si esa bomba con un régimen diario de funcionamiento llegaría al mes 43 operando o si tal vez no supere ni el mes 12.

A continuación se presenta la grafica costos – tiempos de operación donde claramente se observan los mencionados puntos de equilibrio.



Grafica 6.1 Relación Costos – Tiempo de vida útil en la que se observan los puntos de equilibrio de rentabilidad de las bombas

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- ✓ Se ha diseñado y construido un banco de pruebas y evaluación del comportamiento, desempeño y eficiencia de bombas de espiral.
- ✓ Se ha dotado al Laboratorio de Energías Renovables un equipo de laboratorio desarmable, durable, de bajo costo y de fácil uso en el que se pueda modificar y graduar las diferentes magnitudes y parámetros de diseño de bombas de espiral, contribuyendo a la excelencia académica y al desarrollo físico de la institución.
- ✓ Se han establecido parámetros de uso del equipo a construirse, determinando rangos de variación de magnitudes y tabulando la incidencia de los mismos en el desempeño de la bomba de espiral.
- ✓ Se han estudiado criterios y parámetros de diseño de bombas en espiral mediante el uso del equipo banco de pruebas a construirse.
- ✓ Para el estudio de bombas de espiral se supone que las espiras están representadas como una serie estática de tubos en U interconectados. Cada tubo es dimensionado para ser de igual volumen del agua (asumido para permanecer constante y ser igual a la mitad del volumen total de la primera bobina) por lo tanto el mismo volumen para el aire. Desde que el aire es comprimido, el volumen total de aire de cada tubo en U decrecería conforme se acerca a la espira interna de la rueda.

- ✓ Se supone también para el estudio de bombas de espiral que dentro de la primera espira así como en todas las demás espiras, la altura de salida o longitud de descarga producida por cada espira es igual al diámetro de esa espira.
- ✓ La velocidad de giro de la rueda y el caudal de descarga tienen una relación directamente proporcional y su gráfica es representada por una línea recta.
- ✓ Observando detenidamente la tabla 5.2, se nota que no existe una variación de los valores obtenidos de caudal, al variar el diámetro interno de la manguera de la espiral; por lo que se concluye que no afectamos al caudal variando el diámetro de la manguera de la espira.
- ✓ Entre el diámetro interno de la manguera de descarga y el caudal existe una relación inversamente proporcional.
- ✓ Mientras más número de espiras se coloquen, se tiene una mayor altura de descarga, ya que el valor del diámetro de cada espira, suma dicho valor a la altura de descarga  $H$ .
- ✓ También al aumentar espiras en la rueda, se aumenta la presión en la línea de descarga.
- ✓ Existe una relación inversamente proporcional entre el caudal de descarga y el número de espiras, lo que tiene lógica ya que al aumentar espiras, se aumenta la presión, por lo tanto se disminuye la velocidad del fluido.
- ✓ La relación entre el caudal y la altura de descarga resulta una curva, ya que de un comienzo el caudal aumenta conforme se aumenta altura, pero luego existe un punto que esta tendencia decae y luego el caudal va bajando hasta llegar al valor de cero.

- ✓ Mientras se aumenta la altura de descarga  $H$ , la máquina trabajará más eficientemente.
- ✓ Se observan valores mayores de eficiencia de la máquina cuando el número de espiras disminuye, lo cual es lógico desde el punto de vista en que se realiza un menor trabajo de entrada para un mismo trabajo de salida de la máquina. Pero esto contrasta con que al disminuir las espiras, se obtiene menor altura de descarga.
- ✓ Existen relaciones matemáticas para diseño de bombas de espiral que nos arrojan un valor de número de espiras que equilibra unos óptimos resultados tanto para altura de descarga  $H$  como para el caudal deseado. Estas relaciones se muestran detalladamente en el capítulo 2.1.2.3
- ✓ Una rueda en espiral es una buena inversión comparándola con otros tipos de bombas usadas para extraer agua en similares condiciones, ya que en un corto o mediano plazo, los costos de la bomba en espiral llegan a ser inferiores a los de las otras bombas, además de la ventaja del fácil, poco frecuente y barato mantenimiento. A esto habrá que sumarle que la bomba de espiral utiliza energía renovable y no contamina el planeta.

## 7.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda no exceder al actual eje de la rueda de una carga total de 241.48 Kg, por lo que máximo se podría adicionar a la existente una carga de 90 Kg equivalente aproximadamente a una espira adicional mas sus respectivos elementos de sujeción o dos espiras de cargas similares de manguera adicionales anclados a los radios y elementos de sujeción existentes.
- ✓ Se recomienda máximo colocar a la estructura metálica de soporte una rueda adicional a la existente y de similares magnitudes, cada rueda con una carga total máxima de 241.48 Kg. en posición paralela, una frente a la otra, una de cada lado de la estructura.
- ✓ Para diseñar un banco de pruebas, se recomienda primeramente investigar la relación entre las magnitudes que actúan en dicha máquina, y después seleccionar las que inciden en el comportamiento.
- ✓ Para la construcción del dispositivo del presente proyecto, se recomienda empezar por la construcción del esqueleto de la rueda, para luego colocar las mangueras y finalmente construir la estructura de soporte.
- ✓ Se recomienda que para un banco de pruebas para este tipo de bombas, se construya una bomba de grandes dimensiones con el objeto de que al hacer las pruebas arroje resultados confiables y que las tendencias de comportamiento sean apreciables.
- ✓ Se recomienda también realizar una estructura de soporte de dimensiones grandes acordes a la dimensión y peso de la rueda y para que sea resistente y firme ante la corriente de un río.
- ✓ Se recomienda usar un eje y chumaceras para facilitar el giro fácil de la rueda.
- ✓ Se recomienda utilizar mangueras de poliuretano negro por su bajo costo y mayor durabilidad y resistencia al calor del sol que las transparentes.
- ✓ Se recomienda pintar las partes metálicas constantemente con el objeto de evitar la inminente corrosión al trabajar el dispositivo en el agua.

## FUENTES DE CONSULTA

- [1]. Microsoft Student con Encarta Premium 2009.
- [2]. Mott, R. Mecánica de Fluidos, sexta edición, México, Prentice Hall, 2006
- [3]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n\\_en\\_un\\_fluido](http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_en_un_fluido)
- [4]. Tailer P., The Spiral Pump. A High Lift, Slow Turning Pump.  
<<http://lurkertech.com/water/pump/tailer/>>
- [5]. Johnson, B. Air-lift History, Louisiana State University
- [6]. Belcher A., Coil pump, International Conference on Hydropower, July 25 – 28, 1995, San Francisco, CA.
- [7]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad\\_angular](http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_angular)
- [8]. <http://www.fisicapractica.com/velocidad-tangencial-mcu.php>
- [9]. <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080705104033AAjUXQ>  
p
- [10]. [http://www.enreparaciones.com/ahorro\\_de\\_energia/consumo\\_de\\_artefactos.php](http://www.enreparaciones.com/ahorro_de_energia/consumo_de_artefactos.php)
- [11]. <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/10350/2/Abstract.pdf>
- [12]. [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial\\_07.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_07.htm)
- [13]. Sadec Z. Kassab, Coil Pump Performace Under Variable Operating Conditions, 2005, Alexandría University, Egypt
- [14]. [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_densidades.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_densidades.html)
- [15]. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Rhizophoramangle.pdf>
- [16]. <http://www.madel.com.ec/seike.swf>
- [17]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad>
- [18]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Corriente\\_fluvial](http://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_fluvial)
- [19]. Shigley J, Diseño en Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw Gill, sexta edición, 2002.
- [20]. <http://www.youtube.com/watch?v=rY-AQrWOjw4>
- [21]. Apuntes y documentos personales.