

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE ESPIRAL

DESARROLLADO POR: MIGUEL ANDRÉS TERÁN ECHEVERRÍA

RESUMEN

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.

OBJETIVOS

General

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

Específicos

- Crear un equipo de laboratorio desarmable, durable, robusto, 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.
- Establecer criterios de diseño y construcción para bombas en espiral mediante el uso del dispositivo a construirse.
- Instaurar parámetros de uso del equipo a construirse con fines experimentales y pedagógicos, determinando rangos de variación de las magnitudes .



DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS:

Diseño del eje:

El eje fue diseñado utilizando criterios conservadores de diseño de elementos mecánicos basado en un análisis completo a fatiga del elemento con teorías de esfuerzo cortante máximo; dando como resultado un factor de seguridad de 2 para el punto B, siendo ésta la sección más crítica por su mayor valor de momento flector.

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

Diseño de la estructura de soporte.

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

Materiales utilizados en la estructura.

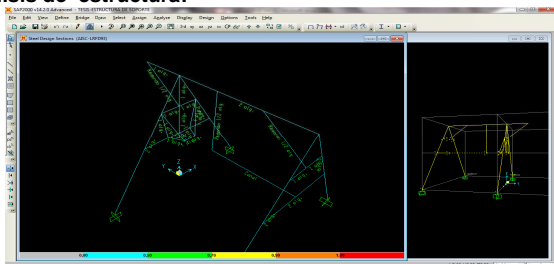
CODIGO	DESCRIPCIÓN
2 plg.	Tubo sección cuadrada 2", espesor 3,5 mm.
1 plg.	Tubo sección cuadrada 1", espesor 3,0 mm.
Redondo ½ plg.	Tubo sección redonda D1/2", espesor 2.5 mm.
Canal	Canal de 2"x1", espesor 3 mm.

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.

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.

Análisis de estructura:



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.

Análisis de Capacidad Máxima:

- Se analizó con el software SAP la estructura simulando cargas adicionales que representarían una tentativa de colocación de una segunda rueda de dimensiones, peso y capacidad similar a la existente, con el fin de observar si la estructura soporta o no.
- En un primer análisis colocamos una rueda adicional articulada a la existente. Se observa que algunos elementos se presentan en color ROJO, lo cual indica una demanda capacidad superior a 1, se trata de los elementos de sección cuadrada de 1", dichos elementos NO SOPORTARÍAN. También se observa que una viga horizontal de sección 2 plg, presenta un color AMARILLO, lo que nos indica que tiene una demanda capacidad entre 0.7 y 0.9, lo cual sería un trabajo muy al límite. Se concluye que NO ES FACTIBLE esta forma de incrementar.
- En un segundo análisis se colocó una rueda adicional del otro lado de la estructura, de manera que ambas ruedas queden paralelamente una frente a la otra. Observamos en el análisis que la mayor parte de la estructura presentaría una demanda capacidad menor a 0.5 "CELESTE" y únicamente una viga trabaja con demanda capacidad de hasta 0.75 "VERDE", lo que serían parámetros normales de funcionamiento, por lo que sería FACTIBLE este modo y ya no se recomienda aumentar más.

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

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

- 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. .



- Se colocaron las placas en el eje con una separación de pulgada y cuarto, que será la medida del ancho de los radios para formar la rueda.
- Para formar esta separación se adición 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 23/64" y 6/8" de longitud.
- Los radios serán de madera colorado por ser resistente. Sus dimensiones serán de 120 cm x 5 cm x 2 cm.



- Este conjunto girará gracias a dos chumaceras de piso de una pulgada y media que le serán colocadas en un extremo del eje.
- Se colocaron ocho paletas alrededor de la circunferencia de la rueda, se hicieron de madera seike por ser liviana, de 30 cm x 19cm x 20 mm.
- Se colocaron espiras de manguera de polietileno de 1" y 3/4", una a cada lado de la rueda y sujeta a los respectivos radios.

- En el extremo externo de cada espiral, se colocó 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.
 - En la espiral con la manguera de ¾", se realizó un corte a la manguera en la tercera espira, para poder probar con 10 espiras y también con 12.
 - Se tuvo que colocar en esta parte una unión con una tercera boca de entrada exclusiva para 10 espiras y con un tapón para cuando no se use esta opción. Además se colocó una válvula, con el objeto impedir el paso del agua hacia las dos espiras externas inhabilitadas cuando se requiera 10.
 - Al final de cada espiral, en su extremo de la espira más interna, se colocó válvulas de paso de fluido de ¾".
 - La articulación hidráulica está en el centro de la rueda, acoplada al extremo en voladizo del eje. Une el paso de flujo que viene desde las mangueras espiraladas "que se encuentran girando", con la manguera de descarga "que se encuentra fija, tendida en el terreno. manguera de 1" mixta (transparente y de polietileno negro), y con opción a incrementar en 103 m. su longitud con manguera transparente de ½".
 - Se conectó a la rosca fija de salida de la articulación hidráulica, y mediante una té de ¾" se dividió para conectar cada una de las descargas.
- 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.



PRUEBAS CON EL DISPOSITIVO

- Para medir el caudal de descarga, 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.
- De esta manera, obtenemos el caudal utilizando la fórmula:

$$Q = v/t$$
 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 m³/s, o a pie³/s, etc
- Las pruebas con el banco de pruebas construido se realizaron utilizando dos fuentes de agua.
 Un río.
 Un tanque con agua.

Pruebas en el río:

- Se encontró un lugar ideal para hacer las pruebas, en la orilla del río Pita, en el barrio Selva Alegre, en la ciudad de Sangolquí del cantón Rumiñahui.
- Se llevaron a cabo los días 21 y 22 de Noviembre del 2011.



- 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 ¾" y la descarga también de ¾", se midieron las rpm, y el caudal; se obtuvieron los siguientes datos:
 n: Numero de espiras
 d Espiras: Diámetro interno de manguera de espiral.
 d Descarga: Diámetro interno de manguera de descarga.

% sumergido	n	D [plg]	d Espiras [plg]	d Descarga [plg]	rpm	P [psi]	Volumen [gal]	t1 [min]	t2 [min]	t3 [min]	t4 [min]	t5 [min]	t promedio [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

- Se realizó el segundo grupo de pruebas, en las que se variarían los diámetros de ¾" y 1" para las mangueras utilizadas tanto en la espira como en la de descarga; así como también variando el número de espiras.

% sumergido	n	D [plg]	d Espiras [plg]	d Descarga [plg]	rpm	P [psi]	Volumen [gal]	t1 [min]	t2 [min]	t3 [min]	t4 [min]	t5 [min]	t promedio [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

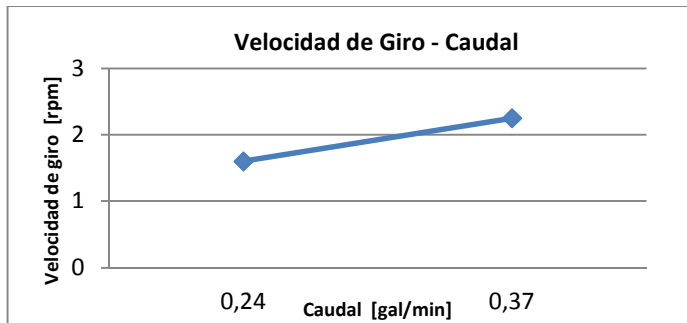
Pruebas en un tanque con agua:

- Estas pruebas se realizaron con el objetivo de variar la magnitud de la altura de descarga H.
- Esta prueba se la realizó en las instalaciones de la ESPE, utilizando la variación de altitud de los espacios verdes y del 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..



ANÁLISIS DE DATOS

Los valores de caudal se obtuvieron utilizando los datos presentados anteriormente



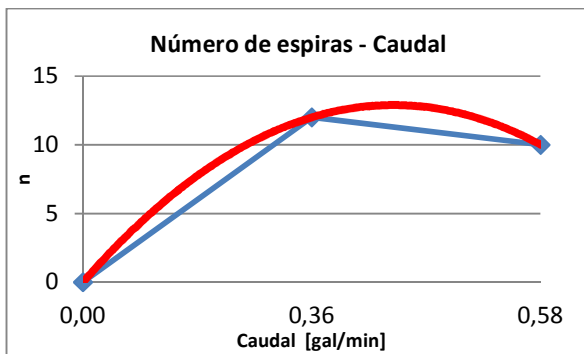
Calculo de caudal con datos de las primeras pruebas.

% sumergido	n	D [plg]	d Espiras [plg]	d Descarga [plg]	rpm	P [psi]	V [gal]	t [min]	Caudal [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

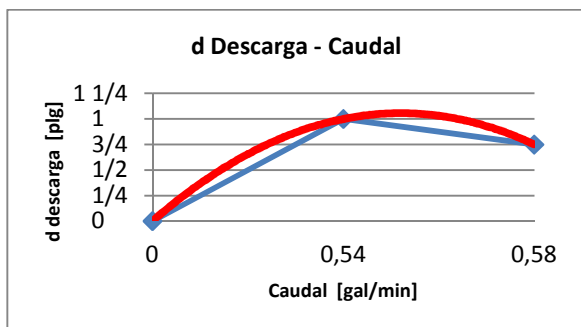
- Como podemos observar en la figura presentada a continuación, la velocidad de giro y el caudal tienen una relación directamente proporcional y su grafica es representada por una línea recta.
- Es igual a la obtenida y expuesta por Tailor P. en su obra "The Spiral Pump", lo que demuestra que es correcta y que los resultados son veraces y coherentes.

Calculos de caudal con los datos obtenidos en las segundas pruebas:

% sumergido	n	D [plg]	d Espiras [plg]	d Descarga [plg]	rpm	P [psi]	Volumen [gal]	t [min]	Caudal [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

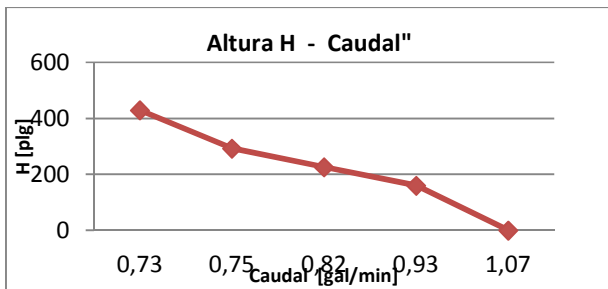


- Se observa una curva que termina en una relación inversamente proporcional, igual a la expuesta por Sadek Z. Kassab en su obra Coil Pump Performace Under Variable Operating ; lo cual tiene lógica, ya que a mayor número de espiras, tenemos una mayor presión y por lo tanto se disminuye la velocidad del fluido, lo cual también se puede observar en las tablas de resultados de Tailor P; demostrando así que los resultados obtenidos son veraces y coherentes



- Se observa 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.

Caudal variando la altura:



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

- Podemos observar una 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 “Ocwus”, con lo cual se confirma la veracidad y coherencia de los resultados obtenidos.

Cálculos de eficiencias:

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

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

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

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado y construido un banco de pruebas y evaluación del comportamiento, desempeño y eficiencia de bombas de espiral.
- Se ha entregado un equipo de laboratorio desarmable, durable, de bajo costo y fácil uso en el que se puede modificar y graduar las diferentes magnitudes y parámetros de diseño de bombas de espiral.
- Se han establecido parámetros de uso del equipo a construirse, determinando rangos de variación de magnitudes.
- Se han estudiado criterios y parámetros de diseño de bombas en espiral mediante el uso del equipo construido.
- Se ha supuesto 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.
- La velocidad de giro de la rueda y el caudal de descarga tienen una relación directamente proporcional y su grafica es representada por una línea recta.
- 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 del espiral.
- 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 polinómica. 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.
- 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.