

# ACELERADOR TANDAR

INFORME TÉCNICO:

## MODIFICACIÓN DEL ACCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERADORES ELÉCTRICOS DEL ACCELERADOR TANDAR.

Ing. C.Miguez, S. Milanese, J. Lafranchi, Febrero 2015

### Breve descripción del sistema interno de generación de energía eléctrica en el acelerador:

El acelerador Tandar posee un sistema de generación de energía eléctrica para alimentar toda la electrónica y los equipos de los sistemas internos. Este sistema cuenta con seis generadores trifásicos de 5 KVA de potencia cada uno que generan corriente alterna de 3 x 220 VCA a una frecuencia de 400 Hz a 1800 RPM. Este tipo de generadores, utilizados mayormente en aviación, están ubicados en cada una de las zonas muertas y en el terminal del acelerador. Están impulsados por sendos ejes de acrílico transparente (material utilizado por ser aislante eléctrico) accionados por motores trifásicos de 25 HP, instalados a nivel de tierra. Estos ejes, que se denominan rotating-shaft en inglés, tienen por función transmitir la energía mecánica de los motores hacia los generadores eléctricos atravesando el potencial electrostático desde el nivel de tierra hasta el terminal de alta tensión que usualmente es de varios millones de voltios (MV). Un esquema del sistema puede verse en la figura 1:

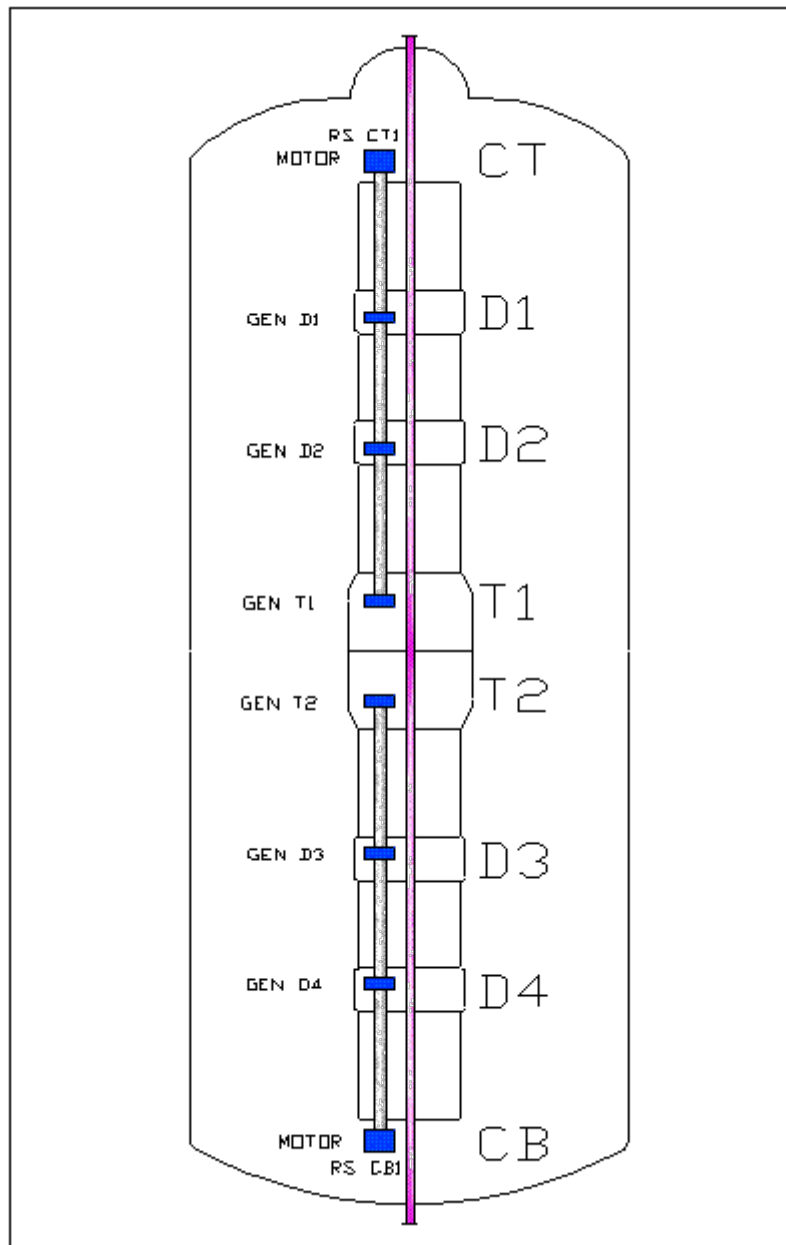


FIGURA N° 1: Esquema del sistema de generación de energía eléctrica a lo largo de la columna del acelerador

El rotating-shaft denominado RS-CT1 recorre desde el tope de la columna de aceleración hasta el terminal de alta tensión, ubicado en la parte media de la columna y acciona tres generadores: el primero en la zona muerta D1, el segundo en la zona muerta D2 y el tercero en la parte superior del terminal T1. El otro eje, denominado rotating-shaft RS-CB1, recorre desde la base de la columna de aceleración hasta el terminal de alta tensión y acciona otros tres generadores: el primero en la zona muerta D4, el segundo en la zona muerta D3 y el tercero en la parte inferior del terminal T2.

Tanto el RS-CT1 como el RS-CB1 están impulsados por un motor eléctrico trifásico de 25 HP, 3 x 380 VCA, 50 Hz, y 1445 r.p.m. Un multiplicador mecánico de velocidad, acoplado entre el motor y el eje, eleva la velocidad de rotación para que el eje gire a una velocidad aproximada de 1800 RPM que es la velocidad necesaria para que los generadores eléctricos del acelerador trabajen a valores nominales, es decir 3 x 220 VCA, 400 Hz.

### **Los problemas más frecuentes del sistema:**

1) El arranque y parada de cada motor de los rotating-shafts esta comandado por un tablero eléctrico con contactores y resistencias para el arranque a tensión reducida. Este sistema suele tener fallas por la cantidad de componentes y por más de 30 años de uso diario.

2) Cada uno de los multiplicadores mecánicos de velocidad posee poleas y correas dentadas. El desgaste de éstas correas produce polvo de goma que se deposita y ensucia la parte de la columna de aceleración cercana al mismo (al menos las primeras monedas del acelerador) así como el fondo del tanque. Además, durante el funcionamiento, el engrane o acoplamiento entre los dientes de las poleas y las correas produce un elevado nivel de ruido y vibraciones.

3) Adicionalmente los rodamientos y correas de los multiplicadores de velocidad se deben reemplazar periódicamente debido al desgaste y esta tarea es muy complicada de realizar por el reducido espacio y el diseño poco elaborado de estos dispositivos mecánicos.

### **La solución adoptada:**

Hace algunos años pensamos que utilizar variadores electrónicos de velocidad para manejar los motores de los rotating-shaft era una alternativa viable, con la cual se podían resolver simultáneamente los tres problemas antes mencionados. La idea principal es eliminar el multiplicador mecánico de velocidad de cada rotating-shaft y hacer girar el motor directamente a unas 1800 RPM, de esta forma se acopla directamente el motor al rotating-shaft a través de un acople elástico, que además de ser un elemento de unión también absorbe pequeñas diferencias de alineación mecánica. Además se cuenta con la ventaja de poder controlar el arranque y la parada del motor en forma gradual mediante una rampa de aceleración y de desaceleración que evita elevadas corrientes en el motor así como elevados torques en el conjunto mecánico que pudieran dañar los componentes del sistema, es decir que durante el arranque el variador hace que el motor acelere lentamente durante unos 30 segundos y lo estabiliza a la velocidad deseada, de 1800 RPM. Lo mismo ocurre en el apagado ya que la velocidad baja paulatinamente durante 30 segundos hasta detenerse completamente. Adicionalmente los variadores electrónicos de velocidad cuentan con protecciones para el motor. También se reducen las vibraciones y se evita que se ensucie el acelerador con polvo de goma, con lo cual al estar más limpio, se disminuye la posibilidad de chispas.

### **La selección de los componentes:**

#### **1) El variador electrónico de velocidad:**

Se seleccionó un modelo de variador de velocidad y se adquirieron dos unidades del mismo, uno para cada motor de los rotating-shafts, marca Siemens, modelo Micromaster 440 de 18,5 kW ó 25 HP, con filtros de línea de entrada y salida para evitar armónicos de alta frecuencia en la red eléctrica aguas arriba y aguas debajo de los variadores en la alimentación de los motores. Estos equipos permiten la operación segura del motor en todas las condiciones de operación y cuentan además con todas las protecciones necesarias para el motor. Las

especificaciones están al final del informe en el Anexo 2. A continuación se presenta el diagrama del circuito eléctrico (figura 2):

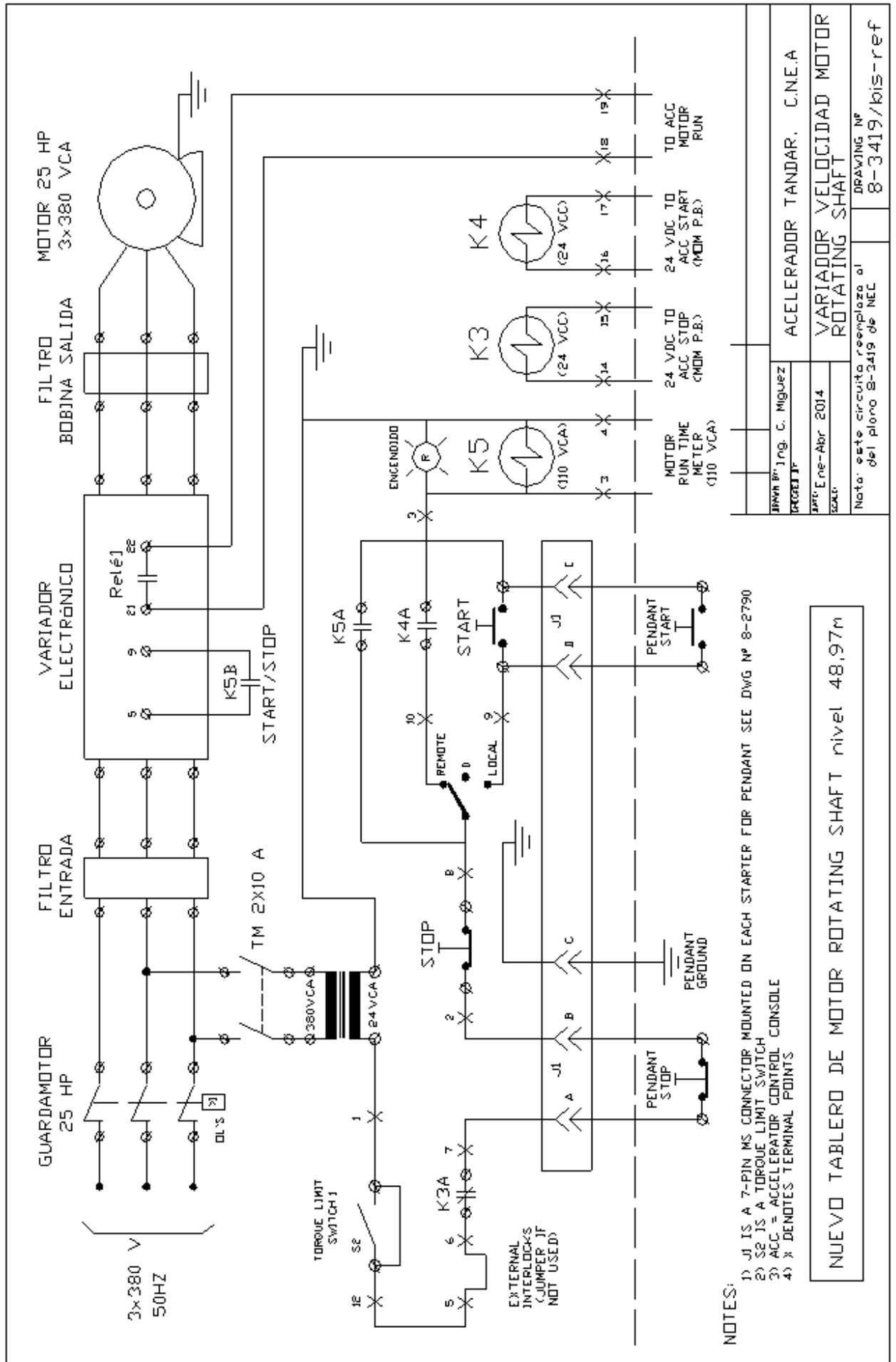


FIGURA N° 2: Circuito eléctrico de comando del motor con el variador de velocidad electrónico.

Para el operador del acelerador, las operaciones de apagado y encendido de los motores de los rotating-shafts es idéntica al anterior sistema, es decir con pulsadores y luces testigos en la consola, comando local en cada tablero o mediante el control remoto alámbrico asociado a cada tablero (pendant).

### **El acople elástico:**

De acuerdo a nuestras condiciones de trabajo y la forma física de los elementos involucrados, se seleccionó del catálogo de acoples marca Tupac de fabricación nacional, el acople tipo brida por ser el que mejor se adapta a nuestro sistema. Luego se dimensiona el mismo siguiendo el procedimiento del fabricante, que da como resultado el tamaño M-3B (ver Anexo 1 al final del informe).



FIGURA N° 3: Acople elegido para vincular el motor al rotating-shaft.

### **El trabajo:**

El trabajo completo se divide en dos grandes tareas, a saber:

#### **1. Desinstalación de los componentes del viejo tablero de comando e instalación del variador electrónico de velocidad (fuera del tanque del acelerador).**

Constituida principalmente por las siguientes subtareas:

- 1.1 Desconexión eléctrica del tablero.
- 1.2 Desmontaje de todas las partes para vaciar el gabinete.
- 1.3 Perforación de bocas de ventilación en el gabinete.
- 1.4 Montaje de filtro de entrada, filtro de salida, variador de velocidad, guardamotor, relés y demás elementos componentes del circuito en el plano.
- 1.5 Conexión de todos los elementos.
- 1.6 Verificación de las conexiones.
- 1.7 Pruebas.

#### **2. Eliminación del variador mecánico y acoplamiento directo del motor al rotating-shaft (dentro del tanque del acelerador).**

Constituida principalmente por las siguientes subtareas:

- 2.1 Desconexión eléctrica del motor.
- 2.2 Desarmado de todas las partes del multiplicador: ejes, poleas, correas y rodamientos.
- 2.3 Desmontaje del motor.
- 2.4 Desinstalación del multiplicador mecánico de velocidad.
- 2.5 Modificación de la estructura que soporta el motor y multiplicador: se cortan las 2.5 columnas y se deja sólo la brida principal para soportar el motor a la misma.

2.6 Modificación del motor: se reemplazan las varillas roscadas (que mantienen unidas la carcasa y las tapas) por otras mas largas de 1 metro de longitud. A la tapa trasera del motor, para distribuir los esfuerzos y que no se rompa, se le agregan dos planchuelas de 50mm x 6 mm con orificios por donde pasan las varillas roscadas.

2.7 Montaje del motor.

2.8 Montaje del acople elástico.

2.9 Conexionado del motor.

2.10 Prueba del nuevo sistema.

### **Desarrollo de las tareas:**

Comenzamos por el RS-CB1, es decir el sistema que está en la mitad inferior del acelerador, con el motor instalado debajo del primer casting o moneda del acelerador y luego con el RS-CT1 que está en la parte superior del acelerador.

Para la tarea N° 1: **Desinstalación de los componentes de los viejo tablero de comando e instalación del variador electrónico de velocidad**, se requiere modificar los tableros de comando de los motores de los rotating-shaft RS-CB1 (inferior), ubicado en el nivel 6,45m y el del RS-CT1 (superior), ubicado en el nivel 48,97m de la torre del acelerador. Los viejos sistemas de arranque de los motores consistían en un sistema de arranque a tensión reducida mediante el uso de resistores de potencia y contactores de conmutación de la tensión reducida a la tensión nominal. En las siguientes figuras se puede visualizar uno de los mismos antes y después de las modificaciones.



FIGURA N° 4: Vista del tablero de comando de rotating shaft con el viejo sistema con resistores y contactores.



FIGURA N° 5: Vista del tablero de comando de rotating shaft con el nuevo sistema con el variador electrónico y los filtros de entrada y salida.

Se siguieron los pasos lógicos necesarios enumerados precedentemente y las modificaciones concluyeron con éxito. Se desmontaron los viejos componentes del tablero de comando original y se montaron y cablearon en el mismo el variador electrónico, el filtro de entrada, el filtro bobina de salida como puede verse en la siguiente figura 6:





FIGURA N° 6: Vista del tablero de comando de rotating-shaft con el nuevo sistema con el variador electrónico y los filtros de entrada y salida.

Asimismo se instalaron los relés de comando que ejecutan las órdenes del operador desde la consola de control y el cableado de control del variador electrónico como se ve en las siguientes figuras 7 y 8:

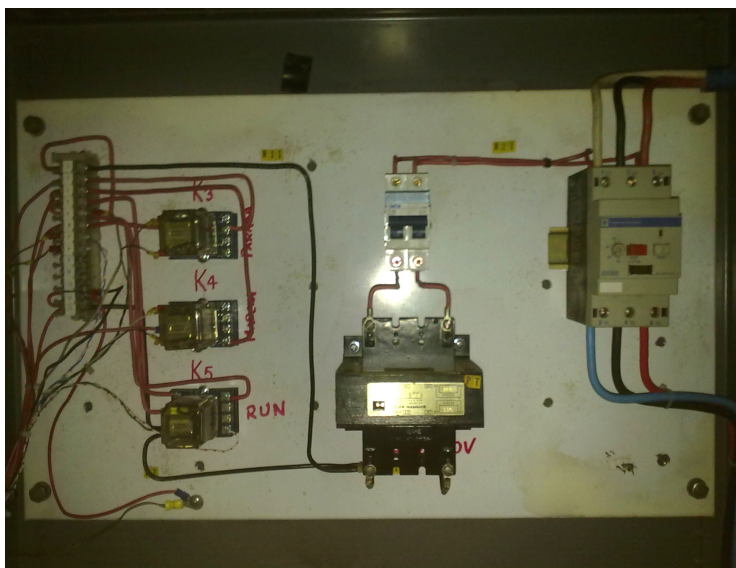


FIGURA N° 7: Vista del sistema de relés de control del sistema.



FIGURA N° 8: Vista del cableado de control del variador.

Luego de desmontar todos los viejos componentes y antes de montar los nuevos se hicieron dos huecos calados en la chapa de los gabinetes, uno para entrada de aire fresco y el otro para la salida de aire caliente, para permitir la adecuada ventilación de los equipos electrónicos en su interior.

Este sistema electrónico de variación de velocidad cuenta con todo tipo de protecciones ya que la electrónica del variador constantemente supervisa todos los parámetros de funcionamiento y si alguno se sale de los valores estipulados detiene el motor para protegerlo y emite un mensaje de falla.

La tarea 2: **Eliminación del variador mecánico y acoplamiento directo del motor al rotating-shaft**, para el RS-CB1 requirió un esfuerzo importante, ya que para hacer las modificaciones mecánicas necesarias se debieron manipular elementos bastante pesados en lugares reducidos e incómodos dentro del tanque del acelerador. Para eliminar el multiplicador mecánico de velocidad, tal como está enumerado más arriba hubo que desmontar el motor y todos los elementos del reductor mecánico de velocidad y cortar la estructura de acero donde estaban montados, dejando solamente la brida principal, que está soldada a la base o mesa en la que se apoya el acelerador, y que servirá para montar el motor y vincularlo directamente al rotating shaft a través del acoplamiento elástico.

El motor del RS CB1 estaba dañado y lo sacamos del tanque. Fue reemplazado por un motor reacondicionado que teníamos en stock desde hacía varios años. El mismo lo llevamos al taller y lo desarmamos (ver figura N° 9) para observar el estado de sus rodamientos que resultaron ser nuevos y además para reemplazarle las varillas roscadas originales de la carcasa.



FIGURA N° 9: El motor eléctrico del RS CB1 en el taller para realizarle el control y las modificaciones necesarias.

La idea es sujetar el motor a la brida soporte que está soldada con unos refuerzos a la estructura base del acelerador. De esta manera se puede abulonar con cuatro bulones la tapa delantera de la carcasa del motor y además las cuatro varillas roscadas que atraviesan la carcasa y se atornillan a las tapas del motor, quedando el mismo completamente sujeto a la brida soporte, como se ve en las siguientes fotos de la instalación del motor, como puede observarse en las figuras 10, 11, 12 y 13:



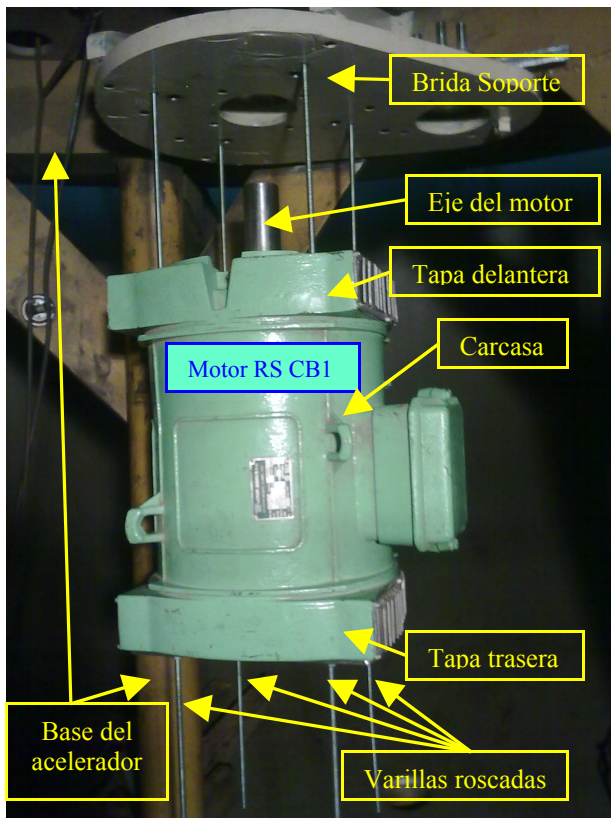


FIGURA N° 10: Progreso del montaje de motor del RS CB1

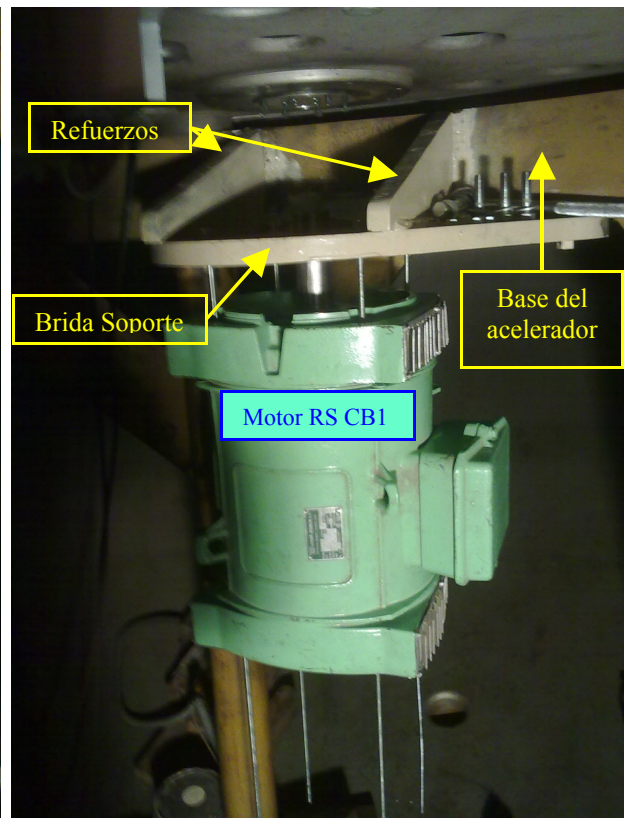


FIGURA N° 11, Progreso del montaje de motor del RS CB1



FIGURA N° 12: Detalle del montaje de motor del RS CB1

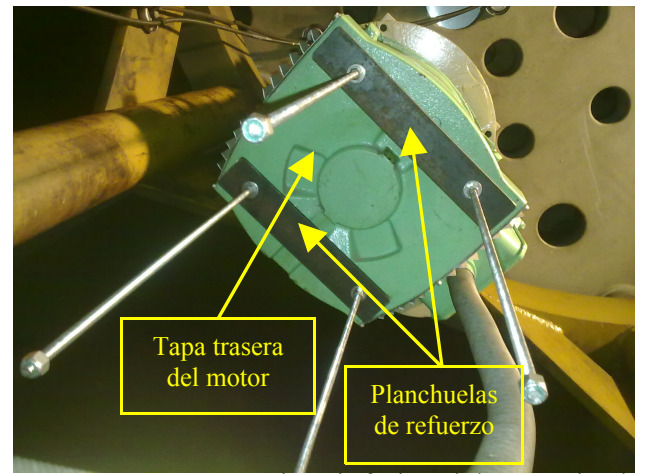


FIGURA N° 13: Vista inferior del montaje del motor del RS CB1

Este nuevo tipo de montaje usando las varillas roscadas que mantienen la carcasa unida a las tapas del motor para fijar el motor a la estructura, además de los cuatro bulones que fijan la tapa delantera del motor a la brida de soporte, provee una fijación general del motor mucho más robusta ya el motor es sostenido desde abajo por las varillas roscadas fijadas a las planchuelas de refuerzo sobre la tapa trasera y desde arriba por las fijaciones a la tapa delantera. Esta diferencia es muy importante porque asegura que sea prácticamente imposible que se suelte el motor.



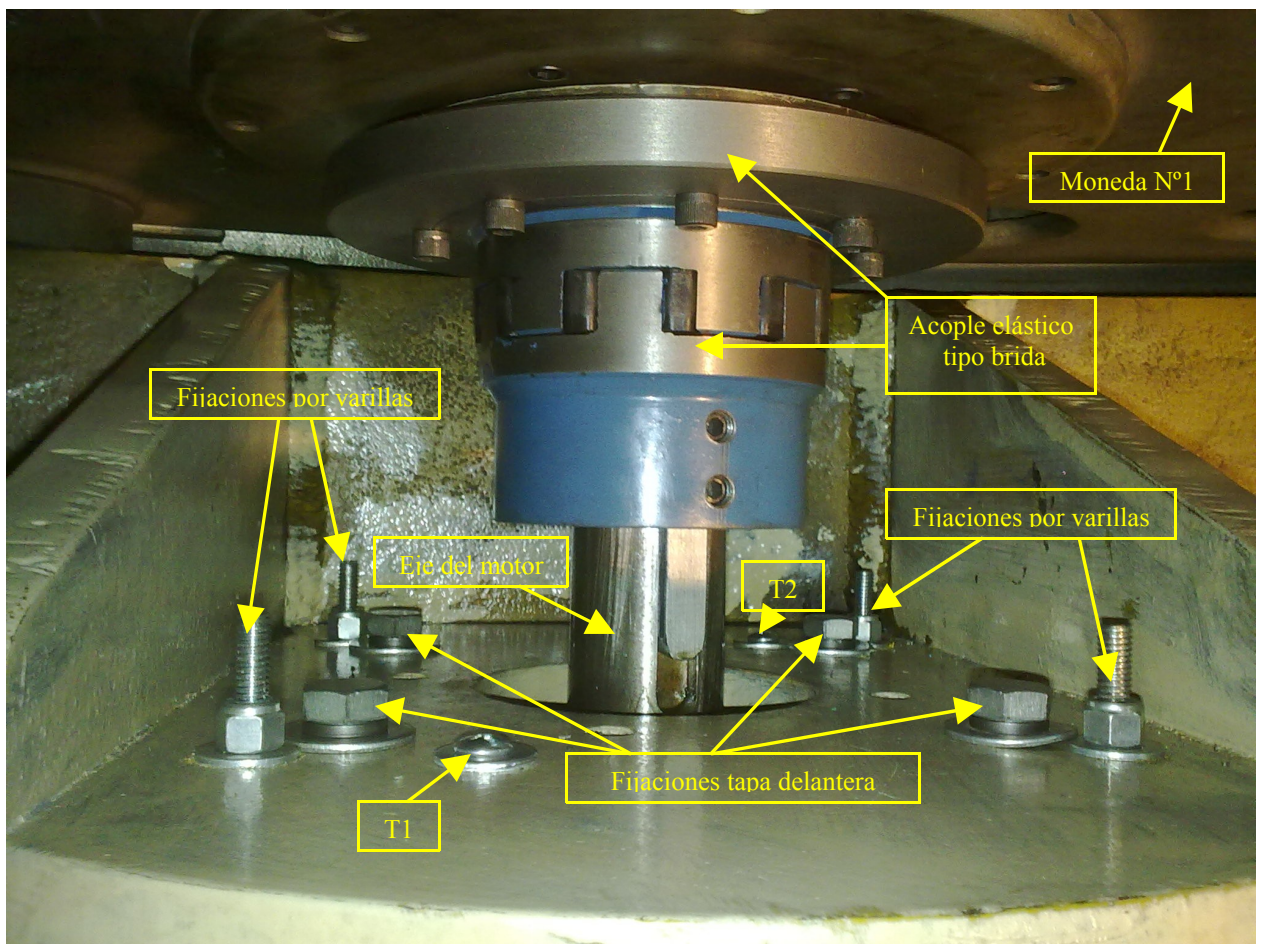


FIGURA N° 14: Detalle del acople elástico y las fijaciones del motor del RS CB1

Se tuvo especial cuidado para que el motor quedara correctamente alineado con el rotating-shaft, debido a que cuanto menor sea la desalineación menores serán las vibraciones a lo largo del acelerador. La alineación del motor se logró una precisión del orden de 19 centésimas de milímetro en total con respecto al rotating Shaft, para medirla utilizamos un comparador con precisión de 0,01 mm y base magnética. En la figura 9 puede observarse el detalle del montaje del motor. En la misma se aprecia el acople elástico tipo brida que conecta el eje del motor con el rotating shaft, también se ven las fijaciones, por varilla roscada a la tapa trasera del motor y por bulones a la tapa delantera. Además están marcados los tornillos “T1” y “T2”. Estos pequeños tornillos tienen por función fijar exactamente la posición del motor a la brida de soporte y están roscados tanto a la brida como a la carcasa del motor. Así en caso de que se deba desmontar el motor para mantenimiento o reparaciones, se puede volver a montar en la misma posición que estaba fijando estos tornillos. Esto es muy importante para asegurar la correcta alineación entre el motor y el rotating-shaft. Cabe destacar que el acople elástico puede absorber diferencias de hasta 1 mm, pero cuanto menor es la desalineación, menores son las vibraciones y el desgaste del acople elástico.

Luego se acopla el caño flexible metálico corrugado con los 3 cables de la tensión trifásica a la caja de bornes y se efectúa el conexionado eléctrico en la bornera del motor. Asimismo se conecta cuidadosamente el cable de puesta a tierra a la carcasa del motor.

Finalmente, como puede apreciarse en la siguiente figura 15, el motor queda montado y acoplado (a través del acoplamiento elástico) al rotating-shaft que impulsa los generadores eléctricos dentro del acelerador. Se realizan varias pruebas de funcionamiento observándose el correcto desempeño del nuevo sistema que arranca suavemente con una rampa de aceleración de 30 segundos y también se detiene suavemente. El funcionamiento es correcto, muy silencioso y con muy pocas vibraciones.





FIGURA N° 15: vista del motor ya completamente instalado y acoplado al rotating-shaft.

Se agradece la colaboración en la realización de este proyecto a los señores Técnicos: Sergio Milanese y Julio Lafranchi.

# ANEXO 1

## FORMA DE SELECCIONAR EL ACOPLAMIENTO

Fórmula de aplicación datos

N: Potencia en HP o Kw

n: Velocidad en RPM

S: Factor de servicio

Mt: Momento de torsión

$$\text{Si N en HP se aplica } Mt = \frac{716,2 \cdot N \cdot S}{n} \text{ en Kgm.}$$

$$\text{Si N en Kw se aplica } Mt = \frac{974 \cdot N \cdot S}{n} \text{ en Kgm.}$$

$S_1$  = Motor eléctrico

$S_2$  = Turbina

$S_3$  = Motor a nafta o diesel

**TABLA N° 1**

<b>A</b>	<b>MAQUINAS CON CONSUMO DE FUERZA UNIFORME</b>	Cintas transportadoras, aparejos livianos, aspiradores pequeños, bombas centrífugas pequeñas, servo motores, ascensores livianos, maquinaria textil, transmisiones, cangilones, ventiladores o aspiradores, máquinas herramientas afiladoras, máquinas livianas en general, turbo compresor.	$S_1 = 1$  $S_2 = 1,3$  $S_3 = 1,5$
<b>B</b>	<b>MAQUINAS MEDIANAS Y SEMIPESADAS (Pico de carga hasta 125% de H.P.)</b>	Hornos rotativos, agitadores, amasadora, guillotina, embrague, telares, elevador, montacargas, bomba de pistón, cinta transportadora, molinos a rodillo, zaranda, secador, mezcladoras para pulpa, convertidores de corriente.	$S_1 = 1,5$  $S_2 = 1,8$  $S_3 = 2$
<b>C</b>	<b>MAQUINAS PESADAS CON CONSUMO DE FUERZA IRREGULAR (Pico de carga hasta 150% de H.P.)</b>  <b>MAQUINAS DE FUNCIONAMIENTO RIGUROSO.</b>	Excavadoras, laminadora, motobombas a pistón, calandra para caucho, trituradoras, tratiladoras, bombas de pistón, molinos de cemento, aparejos pesados, perforadoras de pozos, bombas para prensas hidráulicas, cilindros de laminación, grupos eléctricos, molinos a martillo, bomba a pistón doble efecto, prensas excéntricas, trapiche, maquinarias de construcción.	$S_1 = 2$  $S_2 = 2,5$  $S_3 = 3$



## EJEMPLO DE CALCULO

Se desea saber cual es el acoplamiento adecuado para conectar un motor eléctrico a una bomba centrífuga con consumo de fuerza uniforme, la potencia absorbida es 2 Kw. La velocidad es de 1400 RPM.

El factor de servicio es  $AS_1 = 1$

Aplicando la formula correspondiente resulta:

$$Mt = \frac{974 \cdot 2 \cdot 1}{1400} = 1,39 \text{ Kgm}$$

El resultado obtenido se busca en tabla N° 2

Momento en Kgm. Par máximo				TABLA N° 2			
M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8
*	Desde 3,20	Desde** 9,54	Desde 21,50	Desde 54,20	Desde 95,40	Desde 242	Desde 730
Hasta 3,20	Hasta 9,54	Hasta 21,50	Hasta 54,20	Hasta 95,40	Hasta 242	Hasta 730	Hasta 1460

Como vemos corresponde aplicar un acoplamiento TUPAC UNIVERSAL Modelo M-1, luego nos remitimos a la tabla N° 3 (tabla de dimensiones) para saber si corresponde el M-1A o el M-1B, eso dependerá del  $\varnothing$  del eje.

## OTRO EJEMPLO:

Se necesita acoplar motor y bomba para prensa hidráulica, el consumo de fuerza es irregular, el motor eléctrico tiene 15 HP y trabaja a una velocidad de 1500 RPM.

El factor de servicio es:  $CS_1 = 2$ .

Aplicando la fórmula correspondiente resulta:

$$Mt = \frac{716,2 \cdot 15 \cdot 2}{1500} = 14,32 \text{ Kgm.}^{**}$$

El resultado obtenido se busca en tabla N° 2

Como vemos corresponde aplicar un acoplamiento TUPAC UNIVERSAL Modelo M3, luego nos remitimos a tabla N° 3 (tabla de dimensiones) para saber si corresponde de el M 3A o el M 3B, eso dependerá del  $\varnothing$  del eje.

## Cálculo de dimensionamiento del acoplamiento elástico:

$N = 25 \text{ HP}$

$N = 1800 \text{ rpm}$

$S = 1$  (tabla N° 1)

Luego el momento torsor  $M_t$  es:

$$M_t = 716.2 * 25 * 1 / 1800 = \mathbf{9,947 \text{ [kgm]}}$$

Con éste valor ingresamos a la tabla N° 2, cuya segunda columna nos da el modelo M-3, para el rango de 9,54 a 21,5 kgm de momento torsor.

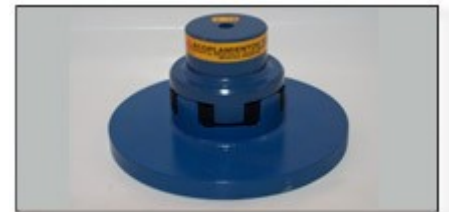
Luego el modelo seleccionado es M-3.

Finalmente y por motivos constructivos seleccionamos en la tabla n° 2 el acople tipo brida modelo M-3B.

## Acople Brida

Los Acoples Bridas son realizados para acoplar a volantes o salidas de motores. Están compuestos por la Brida propiamente dicha y medio acople convencional modelo M, el cual puede ser el A o el B.

Tienen la capacidad de instalarse en espacios reducidos y su recambio es rápido y sencillo. Es de uso frecuente en equipos marinos y máquinas agrarias. Las mismas son realizadas en fundición gris, trabajadas cuidadosamente para evitar cualquier tipo de porosidades y poder cumplir plenamente con las exigencias del trabajo.



Acople Brida

## Características Técnicas



Tabla N° 3

Modelo Brida	M-3A	M-3B	M-4A	M-4B	M-5A	M-5B	M-6A	M-6B	M-7A	M-7B
Ø del eje Máximo	40	65	50	75	85	110	100	140	140	170
Ø de la brida	195	195	250	250	350	350	450	450	550	550
Ø del cuerpo	110	110	140	140	195	195	250	250	300	300
Largo del Total	85	90	115	120	145	145	180	180	190	190
<de flexión en grados normales	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Cant. de tornillos	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Peso en Kg.	3	5	4	12	20	35	40	50	70	80
Espesor de la brida	10	10	15	15	17.5	17.5	20	20	20	20