



Creer... Crear... Crecer...



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE INGENIERIA

“PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA”

Diseño mecánico e ingeniería de detalle de un banco de pruebas para generador de imanes permanentes

CARRERA: Ingeniería Mecánica.

ALUMNO: Abate Daga, Marco.

TUTOR UNIVERSIDAD: O’Brien, Ronald.

TUTOR EMPRESA: Hidalgo, Juan.

LUGAR: MECÁNALISIS SA.

PERÍODO: 19 de marzo 2018 – 11 de mayo 2018.

FECHA: 23 de julio de 2018.

INDICE

RESUMEN	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVOS PLANTEADOS	4
Generales:	4
Particulares:.....	4
OBJETIVOS ALCANZADOS.....	5
Generales:	5
Particulares:.....	5
EMPRESA	6
PRESENTACIÓN:	6
ÁREA Y JORNADA DE LA PPS:.....	6
ORGANIGRAMA GENERAL.....	7
TAREAS REALIZADAS:	8
ACTIVIDAD N°1: RECONOCIMIENTO DE LA EMPRESA.....	8
ACTIVIDAD N°2: VERIFICACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DE BANCO DE PRUEBA.....	8
Hipótesis de carga.....	9
Análisis de resultados.....	10
ACTIVIDAD N°3: SELECCIÓN DE ELEMENTOS COMERCIALES	13
ACTIVIDAD N° 4: MANUAL DE PROCEDIMIENTOS.	14
ACTIVIDAD N° 5: REALIZACIÓN DE PLANOS PARA INFORMES.	15
ACTIVIDAD N° 6: REALIZACIÓN DE PLANOS PARA REPARACIÓN DE ROTOR KIT.	16
ACTIVIDAD N° 7: SIMULACIÓN DE ROTOR KIT DE ELEMENTOS FINITOS.....	19
Modelo.....	19
Desarrollo	21
Análisis de resultados.....	22
CONCLUSIONES:	24
ASPECTOS LABORALES:	24
ASPECTOS PROFESIONALES Y SOCIAL-HUMANO:.....	24
BIBLIOGRAFIA	25
ANEXOS	26
ANEXO I: PLANOS.....	26
ANEXO II: GRÁFICOS-ROTOR KIT.....	27
Gravity Sag:	27
Critical Speed.....	28
Critical Speed Map.....	29
Unbalance response	30

RESUMEN

A continuación se describen las actividades realizadas en la práctica profesional supervisada, la cual se realizó en la empresa MECANÁLISIS SA. Esta es una empresa de ingeniería que presta servicios de diagnóstico de falla, diseño mecánico y reparación a equipos rotativos mecánicos y eléctricos en el rubro de generación de energía y a la industria del gas y petróleo.

Las tareas principales realizadas fueron la verificación del diseño mecánico de un banco de pruebas para motores de motos híbridas, junto con la compra de los elementos comerciales necesarios para el mismo.

La verificación se realizó completamente con un buen resultado final, al igual que la compra de los elementos comerciales, de los cuales solo faltaba que algunos lleguen a la empresa.

Para lograr que todos estos resultados fueran favorables en todo momento hubo un ida y vuelta de información, ideas y opiniones entre la persona encargada del diseño mecánico, el dueño del producto final y la empresa.

OBJETIVOS

Objetivos planteados

Generales:

- ◆ Realizar la verificación del diseño mecánico, la ingeniería de detalle y la construcción de un banco de pruebas para generadores de imanes permanentes.
- ◆ Seleccionar de los componentes comerciales, su validación y la integración con el conjunto mecánico que se diseñara.
- ◆ Calificar proveedores y realizar seguimiento de la ejecución de los trabajos hasta la puesta en marcha del banco de pruebas.
- ◆ Realizar los ensayos de funcionamiento y puesta en marcha del banco de ensayos.

Particulares:

- ◆ Conocer la modalidad de trabajo, en cuanto a la realización de proyectos; desde el cálculo y diseño, con sus respectivos planos, hasta la ejecución de estos.
- ◆ Aplicar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera, para llevar a cabo la tarea.
- ◆ Tomar contacto con la industria, relacionarse con personas en el ámbito profesional, desarrollar habilidades para interactuar con otras personas dentro de una estructura empresarial.
- ◆ Conocer el funcionamiento de una empresa, su organización, políticas, objetivos y visión empresarial.

Objetivos alcanzados

Generales:

- ◆ Se realizó la verificación del diseño mecánico y la ingeniería de detalle de un banco de pruebas para generadores de imanes permanentes.
- ◆ Especificación de los componentes comerciales, su validación y la integración con el conjunto mecánico que se diseñara.
- ◆ Calificación de proveedores.
- ◆ Se realizó el rediseño de algunos componentes de un banco de simulación de balanceo, “Rotor Kit”, junto con el modelado del mismo mediante elementos finitos. (No planificado).
- ◆ Colaboración en otros proyectos de la empresa, realizando tablas y planos. (No planificado).

Particulares:

- ◆ Conocimiento de la modalidad de trabajo, en cuanto a la realización de proyectos; desde el cálculo y diseño, con sus respectivos planos.
- ◆ Aplicación de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera, para llevar a cabo la tarea.
- ◆ Tomar contacto con la industria, relacionarse con personas en el ámbito profesional, desarrollar habilidades para interactuar con otras personas dentro de una estructura empresarial.
- ◆ Conocer el funcionamiento de una empresa, su organización, políticas, objetivos y visión empresarial.

En el caso de la fabricación y puesta en marcha del banco de pruebas, la misma se ha postergado para agosto de 2018 a pedido del cliente final del proyecto.

Adicionalmente a los objetivos planteados, durante el transcurso de la práctica profesional, fueron surgiendo nuevas tareas relacionadas con otros proyectos pertenecientes a la empresa. Estas tareas fueron llevadas a cabo en paralelo con las actividades ya planificadas.

EMPRESA

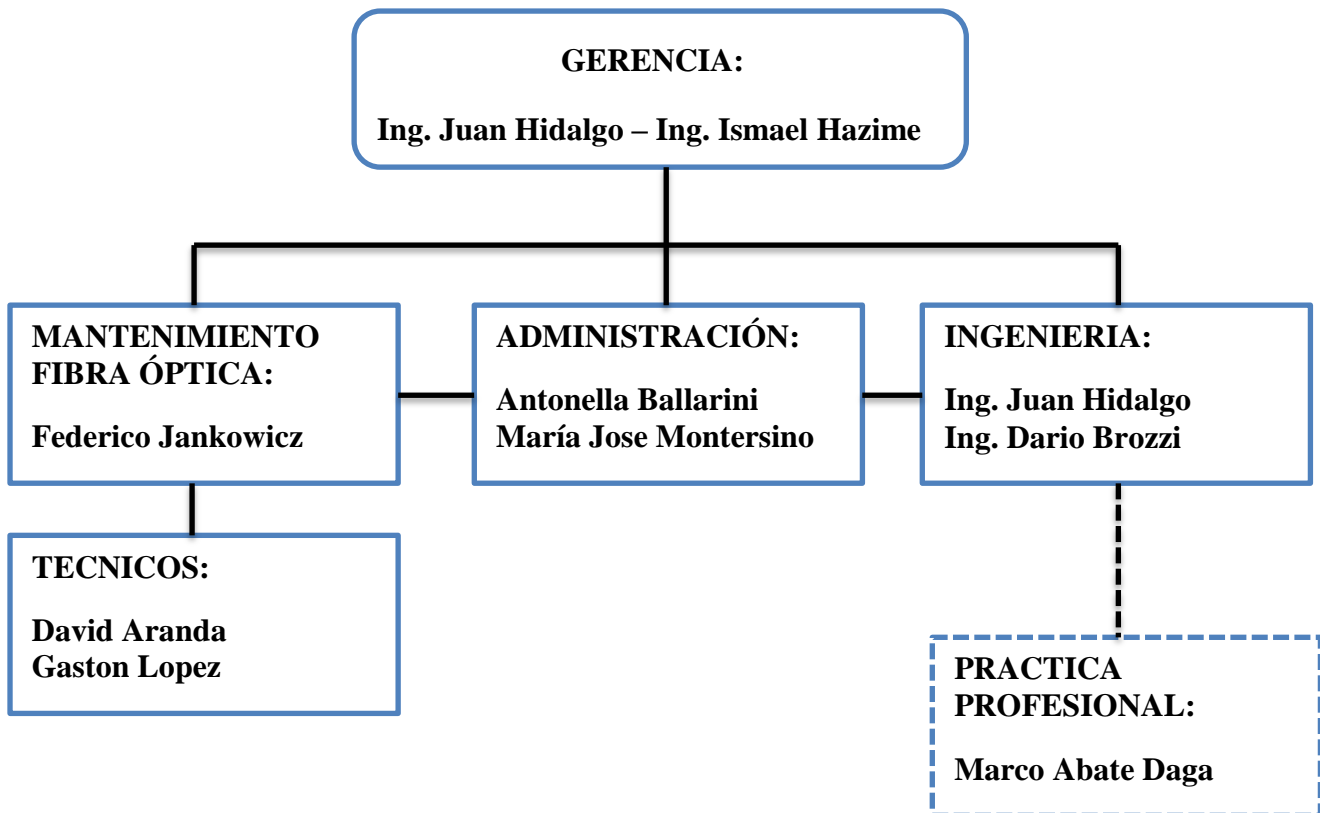
Presentación:

- ◆ **Nombre:** Mecanálisis SA.
- ◆ **Dirección:** Almirante Brown 465, Godoy Cruz, Mendoza.
- ◆ **Teléfono:** 0261-5244807.
- ◆ **E-mail:** jhidalgo@mecanalisis.com.ar.
- ◆ **Rubro:** Mecanalisis SA. Es una empresa con 15 años de experiencia dedicada brindar servicios de los cuales podemos mencionar :
 - Análisis de vibraciones
 - Balanceo y Alineación en sitio
 - Análisis Roto-Dinámico
 - Field Service
 - Consultoría e Ingeniería
 - Capacitación

Área y Jornada de la PPS: La realización de las actividades fue llevada a cabo en la oficina central de la empresa, lugar donde se realizan todas las gestiones de la misma, en el área de ingeniería, donde mis actividades eran supervisadas por el tutor de la empresa Ing. Juan Hidalgo.

Mi asistencia en la empresa era de lunes a viernes de 08:00 Hs a 14:00 Hs, cumpliendo 6 Hs diarias.

Organigrama General



TAREAS REALIZADAS:

Actividad N°1: Reconocimiento de la empresa

La primera actividad fue el recibimiento y la introducción en el ambiente laboral de la empresa:

- Presentación ante los miembros de la empresa.
- Conocimiento de la metodología de trabajo.
- Capacitación en normas de seguridad e higiene.
- Reconocimiento del lugar de trabajo (oficinas-Sala de Reunión-Taller).

Actividad N°2: Verificación del diseño mecánico de banco de prueba.

Se está trabajando en el diseño de un banco de pruebas de motores eléctricos para motos híbridas, el diseño del mismo lo realiza un ingeniero externo a la empresa y mi tarea es verificar el mismo. Es decir que sería el nexo entre el diseñador y la empresa.

Para realizar dicha verificación nos basamos en un pre diseño mostrado en las figuras 1 y 2. Los planos finales del dispositivo fueron realizados por el ingeniero externo a la empresa y fueron entregados un tiempo posterior a la realización de las prácticas.

La estructura cuenta con un eje que gira de 3000 a 8000 rpm, el cual es impulsado por un motor eléctrico 5,5 HP, mediante una transmisión por correa, junto a la polea montada en el eje se encuentra un volante de inercia. Dicho eje en el extremo tiene solidario un volante magnético. Además, la estructura cuenta con un segundo eje el cual está fijo y sostiene el estator.

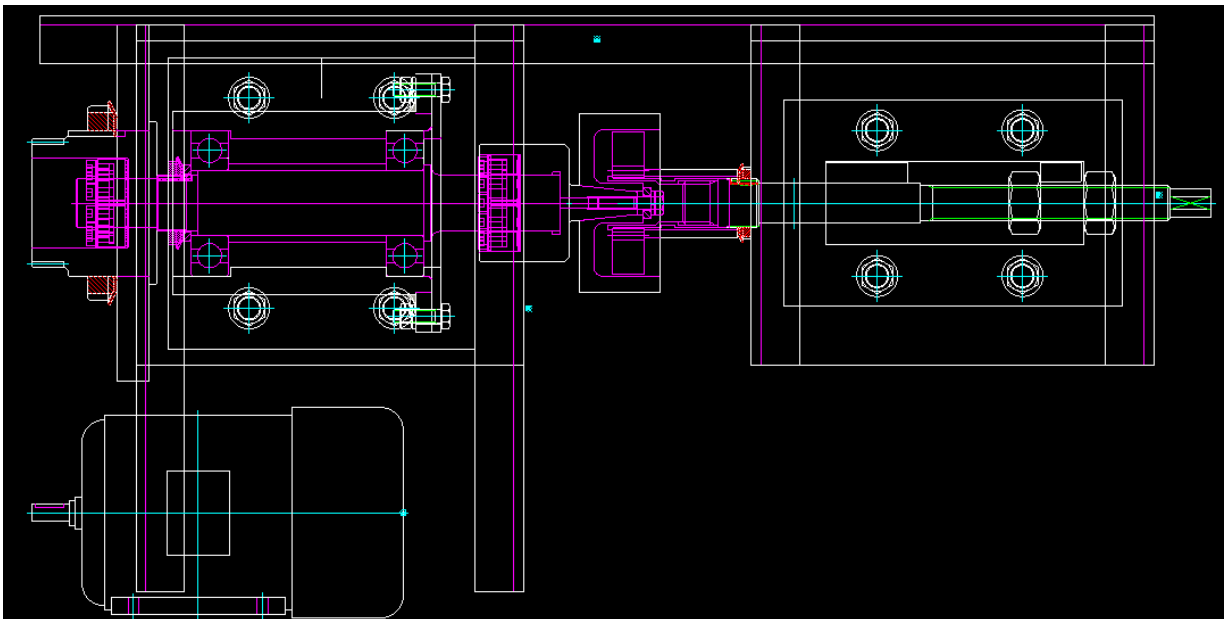


Fig. 1: Vista superior del pre diseño para el banco de pruebas.

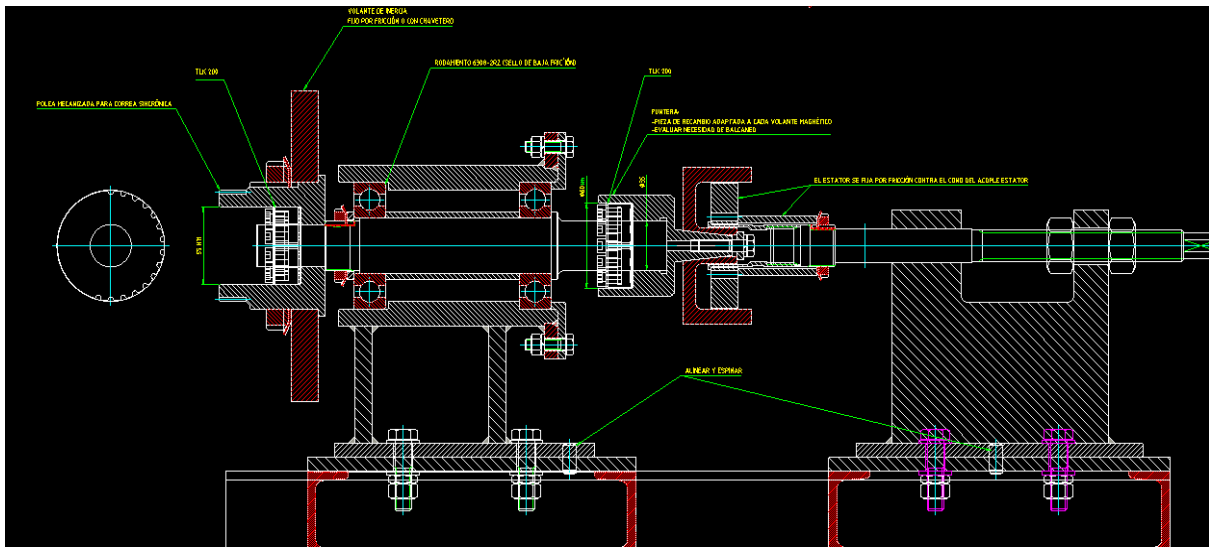


Fig. 2: Vista en corte del pre diseño para el banco de pruebas.

Hipótesis de carga

Se identificaron las cargas radiales y torsionales en los ejes, estas pueden ser debidas a una posible excentricidad en las masas rotantes, y a la tensión de la correa que hace girar el eje del rotor.

En el primer eje, en el extremo donde se ubica la polea y el disco de inercia, dentro de las cargas radiales tenemos una fuerza debida al ajuste de la correa de 500 N y una fuerza de 3500 N suponiendo una excentricidad de 5 Kg a 1 mm del centro del eje girando a 8000 RPM, en cuanto a las cargas torsionales solo vamos a tener una fuerza de 120 N debida a la transmisión de par del motor al eje. En el otro extremo del eje solo vamos a tener una fuerza radial de 1400 N debido a una excentricidad de 4 Kg a 0,5 mm del centro del eje, esta excentricidad es menor debido a que no tenemos la fuerza de tensión de la correa y el volante magnético es de menor tamaño y peso que el volante de inercia.

En el segundo eje, donde se encuentra el estator, va a estar sometido a los efectos del rotor, es decir que se va a ofrecer resistencia al par generado por el rotor y va a soportar la fuerza de excentricidad en caso que la hubiera.

Verificación de ambos eje a:

- Flexión
- Torsión
- Fatiga
- Deformación
- Frecuencias naturales

Como el eje gira a 8000 rpm vamos a tener una expansión en el diámetro del volante de inercia lo que puede provocar un giro del mismo sobre el eje, marcándolo y generando vibraciones posteriormente. Por lo cual se debe prever esa expansión y montarlo con interferencia.

Se calcularon las chavetas para fijar la polea y el volante magnético al eje, y la relación de transmisión necesaria para lograr la performance deseada del equipo.

Análisis de resultados

- **Transmisión:** Teniendo un motor de 3000 RPM y sabiendo que debemos hacer girar el eje a 8000 RPM, calculamos la relación de transmisión que es de 1:2,6. Como la velocidad lineal de la correa supera los 30 m/seg se decide utilizar una transmisión sincrónica.

Poleas	Diámetro (m)	Dientes	Distancia entre centros(m)
Motor	0,203476	126	0,188
Eje	0,07826	48	
Velocidad tangencial (m/seg)	31,96193534		

Tabla 1: Transmisión

- **Fluencia:** Con las cargas establecidas se calcularon las tensiones a lo largo de los ejes y se obtuvo una tensión máxima de 171 MPa en el primer eje y 136 MPa en el segundo. Al ser fabricados con acero 1045 el cual tiene una resistencia a la fluencia de 413 MPa, obtenemos un coeficiente de seguridad mínimo de 2,41.
En el acople entre el estator y el eje se tiene una tensión máxima de 200 MPa, como esta pieza debe ser de un material no ferromagnético como el acero inoxidable, va a tener un coeficiente de seguridad menor a dos. Por este motivo y sumado a la complejidad de la pieza se decide cambiar el diseño de la misma.
- **Fatiga:** El lugar más crítico para la fatiga es el extremo del eje 1 donde se encuentra la polea, debido a la combinación de cargas de flexión alterna, flexión constante y torsión alterna. De todas maneras al realizar los cálculos obtenemos una tensión equivalente en fatiga de 205 MPa lo que nos da vida ilimitada con un coeficiente de seguridad igual a dos.

- **Deformación:** Para calcular la deformación utilizamos la ecuación de la deformada de una viga empotrada de sección circular, a su vez corroboramos los resultados obtenidos simulando la misma situación con Inventor.

Deformación			
	Eje 1 Rotor		Eje 2 Estator
	Extremo correa	Extremo rotor	Extremo estator
Módulo de elasticidad E (Pa)	2,1E+11	2,1E+11	2,1E+11
Longitud L (m)	0,09	0,15	0,13
Diámetro d (m)	0,03	0,035	0,024
Inercia I (m⁴)	3,97608E-08	7,36618E-08	1,6286E-08
Flecha (m)	0,000120113	0,000102084	0,000300567
Flecha (mm)	0,12011256	0,102084159	0,300567381

Tabla 2: Deformación

Las deformaciones obtenidas son aceptables a pesar de que son grandes, las excentricidades supuestas son por demás conservativas. De igual manera no hay que descartar que el equipo en estas condiciones de deformación no funcionara de manera correcta por lo que se necesita un correcto balanceo antes de la puesta en marcha.

- **Frecuencias Naturales:** Teniendo el sistema modelado en Inventor se procedió a calcular las Frecuencias naturales de ambos ejes, los cuales se simularon solos y también con los elementos que se colocaran (Rotor, Estator, Polea, Volante de Inercia). Además se calcularon las frecuencias en estado libre y colocando los apoyos para aproximarse más a la realidad.

Frecuencias Naturales		
	Primer modo (hz)	Rpm
Eje Rotor	1693	101580
Eje Estator	781	46860
Eje Estator completo (Estator)	509	30540
Eje Rotor completo (Polea+Volante de inercia+Rotor)	369	22140
Eje Rotor completo con apoyos	363	21780
Eje estator completo con apoyos	364	21840

Tabla 3: Frecuencias Naturales

Como se puede observar todas las frecuencias naturales son mucho mayores a las 8000 rpm, que es la máxima velocidad a la que girara el eje número 1, por tal motivo no hay riesgo que el sistema entre en resonancia.

- **Interferencia:** Se calculó la interferencia con la cual se necesitan montar los elementos en el eje, para que al girar a 8000 rpm los mismos no se sueltan. Se calcularon las tensiones principales y el máximo esfuerzo de corte que se producirán en el eje y en las cavidades de los elementos al ser montados con la interferencia calculada.

Interferencia			
	Polea	volante de inercia	Rotor
R externo (m)	0,075	0,11	0,055
R interno (m)	0,045	0,045	0,011
Densidad (Kg/m3)	7850		
Delta R interno (m)	5,89706E-06	1,22036E-05	7,26322E-07
Delta R interno (mm)	0,00589706	0,012203639	0,000726322
Interferencia (mm)	0,006	0,015	0,001
Presión externa en el eje			
Carga q (Pa)	8960000	29142561,98	9163636,364
Sigma 1 (MPa)	14	35	9,545454545
Sigma 2 (MPa)	17,92000645	58,28513372	18,32727346
Sigma 3 (MPa)	8,96	29,14256198	9,163636364
Max Esfuerzo cortante (MPa)	8,960003226	29,14256686	9,16363673
Presión interna en la cavidad			
Carga q (Pa)	11546391,75	41128444,38	13800657,17
Sigma 1 (MPa)	6,494845361	8,266511153	0,575027382
Sigma 2 (MPa)	24,53608247	57,66146669	14,95071194
Sigma 3 (MPa)	11,54639175	41,12844438	13,80065717
Max Esfuerzo cortante (MPa)	6,494845361	8,266511153	0,575027382

Tabla 4: Interferencia

Las interferencia necesaria para montar el eje es de 0,015 mm, lo cual es muy pequeño, es decir que no la podemos realizar. Podríamos montar el volante de inercia con una interferencia mayor pero esto imposibilitaría cambiarlo ante cualquier necesidad, por tal motivo se opta por colocar una chaveta, al igual que la polea y el rotor.

Actividad N°3: Selección de elementos comerciales

En esta etapa se realiza la ingeniería de detalle, selección de componentes comerciales, y calificación de proveedores.

Para la fabricación del banco de ensayos y para controlar el funcionamiento del mismo hacen falta ciertos elementos comerciales, de los cuales mi función fue encargarme de la compra de los mismos.

Conjunto	Concepto	Artículo	Cantidad requerida o mínima
Circuito eléctrico	Variador de frecuencia	LS Industrial Systems - IC5 (Variador compacto de alto torque)	1
Circuito eléctrico	Motor	Trifásico - 3000 rpm - 4 KW (6 hp)	1
Circuito eléctrico	Gabinete		
Circuito eléctrico	Llave de corte		
Circuito eléctrico	Cables		
Circuito eléctrico	Toma corriente trifásico		
Circuito eléctrico	Toma corriente monofásico		
Circuito eléctrico	Potenciómetro		
Circuito eléctrico	llave termo magnética monofásica		
Circuito eléctrico	innobattery		1
Accesorios	Cargador de baterías	10A - GAMMA	1
Control	Kelly KBL	KBL24401X,12V-24V,400A,BLDC CONTROLLER/WITH REGEN	1
Control - Cables	J1		1
Control - Cables	J2		1
Control	Cable	USB TO RS232 CONVERTER	1
Control	Sensor corriente 3 fases	200A AC	3
Control	Sensor corriente alimentación	200A Shunt	1
Estator	Comercial	Estator generador moto	3
Rotor	Rodamiento	SKF 6308 2RZ	2
Rotor	Tollok		2
Rotor	Comercial	Volante magnético	3

Tabla 5: Lista elementos comerciales

Esta actividad se comenzó a realizar desde el inicio de las prácticas profesionales hasta la culminación de las mismas, en conjunto con las demás tareas. Esto se dio de esta manera debido a los tiempos de demora para recibir una cotización, una consulta y tiempos más extensos cuando se realiza el envío hasta la empresa. Además, dependiendo de los productos que se encuentran en el mercado, se consultaba con el dueño final del banco de pruebas para comprar el más conveniente según su necesidad.

Como Mecanalis SA es una empresa multinacional, es decir que presta sus servicios en todas partes del mundo, es fundamental tener un estricto orden en temas financieros y legales, por lo que el área administrativa de la empresa exige sin excepción la entrega de Factura A al comprar cualquier insumo.

Lo interesante de esta tarea es la diversidad de productos a comprar (eléctrico, electrónico y mecánico), esto nos lleva conseguir los mismos de diferentes proveedores, distintos lugares del país, hasta incluso del exterior, y distintas formas de pago como así también de envío.

Actividad N° 4: Manual de procedimientos.

Para facilitar el trabajo en sitio, cuando se lleva a cabo un análisis de vibraciones, se decide elaborar un manual de procedimientos general, aplicable a cualquier turbo máquina.

Además de tener los pasos necesarios para realizar el trabajo de forma adecuada, dicho manual establece los valores de vibraciones máximos admisibles para cada turbo máquina, de esta forma se garantiza que el trabajo realizado fue el correcto, de lo contrario la máquina no estará en condiciones de operar.

Mi tarea en esta parte fue recolectar los valores de vibraciones admisibles de diferentes normas y resumirlos en una tabla, la cual formara parte del manual de procedimientos. Las normas utilizadas fueron:

- ISO 7919: Mechanical vibration of non-reciprocating machines- measurements on rotating shafts and evaluation criteria. Part 1, 2, 3, 4 y 5.
- ISO 10816: Mechanical vibration-evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

De los valores de vibraciones recomendados por norma, Mecanalis SA los reduce a un 75% para un balanceo en sitio y los reduce a un 50% para un balanceo en un banco de balanceo. De esta forma le garantiza un mejor funcionamiento al equipo, asegurando su vida útil y deja sumamente satisfecho al cliente.

A continuación se muestran en la tabla 6 y 7 se observan los valores de vibraciones aceptables al realizar un balance en sitio.

		Shaft rotational frequency, rpm			
		1500	1800	3000	3600
		Maximum relative displacement of de shaft, Sp-p, microns			
Large land-based steam turbine generator sets	running speed	75	68	60	56
	Critical speed	150	139	124	113
Coupled industrial machines	running speed	93	85	66	60
	Critical speed	174	159	123	113
Gas Turbine sets	running speed	93	85	66	60
	Critical speed	174	159	123	113
Machine sets in hydraulic power genetating and pumping plants	running speed	98	94		
	Critical speed	165	161		

Tabla 6: Maximum relative displacement of de shaft, Sp-p, microns

		Shaft rotational frequency, rpm			
		1500	1800	3000	3600
		Vibration velocity, mm/s (r.m.s)			
Large land-based steam turbine generator sets	running speed	2,1	2,1	2,9	2,9
	Critical speed	4,0	4,0	5,6	5,6
Coupled industrial machines	running speed	2,6			
	Critical speed	5,3			
Gas Turbine sets	running speed			3,4	
	Critical speed			7,0	
Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants	running speed	1,9			
	Critical speed	3,0			

Tabla 7: Vibration velocity, mm/s (r.m.s)

Actividad N° 5: Realización de planos para informes.

La empresa Mecanálisis SA se dedica a realizar análisis de vibraciones y balancear turbo máquinas, luego de ir a sitio y realizar el trabajo se le debe entregar un informe al cliente en el cual se muestren la toma de datos realizada, el análisis de esos datos, las actividades realizadas para mejorar el funcionamiento de la máquina y las conclusiones finales.

Dentro de esas partes del informe son necesarios planos sencillos y esquemáticos que muestren las posiciones de los sensores en la maquina en el momento de realizar la medición de vibraciones, esto es útil para tener un buena repetitividad en la medición. Además, si la maquina se balancea es necesario indicar en qué lugar y cuanto peso se puso, para tener un historial de los cambios que sufre la máquina. (Ver Planos 1, 2 y 3- Anexo I)

Actividad N° 6: Realización de planos para reparación de Rotor Kit.

La empresa cuenta con un banco de simulación de balanceo, con la idea de realizar simulaciones de casos particulares de balanceo y poder capacitar al personal de la empresa o incluso personal externo en lo que es el análisis de vibraciones.

El Rotor Kit funciona con un motor eléctrico de 4000 RPM, esta velocidad fue elegida para poder pasar por dos velocidades críticas y analizar las vibraciones en esos puntos. Además cuenta con dos masas que permiten cambiar de posición y así variar las frecuencias naturales del sistema, estas masas poseen perforaciones para colocar los pesos de balanceo, entonces estamos hablando que este banco de pruebas tiene dos planos de balanceo.

Este banco tenía algunos defectos que dificultaban su funcionamiento:

1. Las masas tenían once perforaciones para colocarle los pesos de balanceo y los dos orificios para colocar los prisioneros que la fijaban al eje no estaban a 180° por lo que las mismas ya estaban desbalanceadas.
2. Se utilizaron camisas entre el eje y los rodamientos, las cuales fueron montadas sin ajuste lo que producía que las camisas patinen en el rodamiento y se generen vibraciones adicionales indeseadas.
3. Para hacer girar el eje se utilizaba una transmisión de polea, al tener solo dos rodamientos donde apoyaba el eje, el eje se flexionaba por la fuerza ejercida en la polea y al ponerlo en funcionamiento el eje se dobló 1 mm aproximadamente.

Para solucionar estos inconvenientes se decide fabricar las siguientes piezas:
(Ver Planos 4, 5, 6 y 7-Anexo I)



Fig.3: Eje

Se fabricara un eje con una longitud mayor para poder colocar tres rodamientos y así absorber la fuerza generada por la correa.

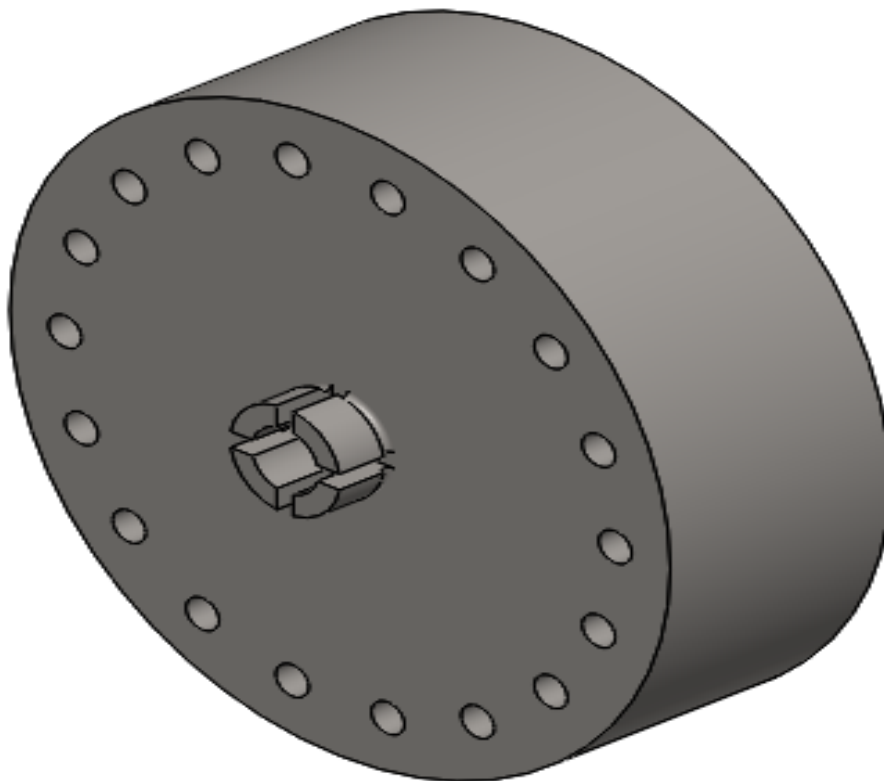


Fig.4: Masa

Dos masas con doce agujeros y montadas al eje con un collarín en vez de prisioneros, de esta manera quedaran balanceadas.

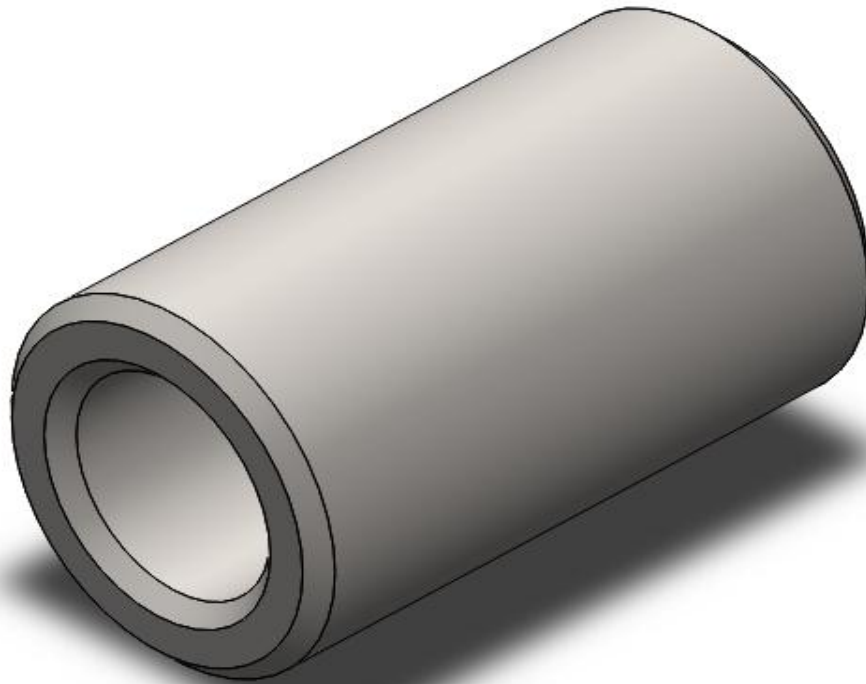


Fig. 5: Camisa

Tres camisas para montarlas con ajuste

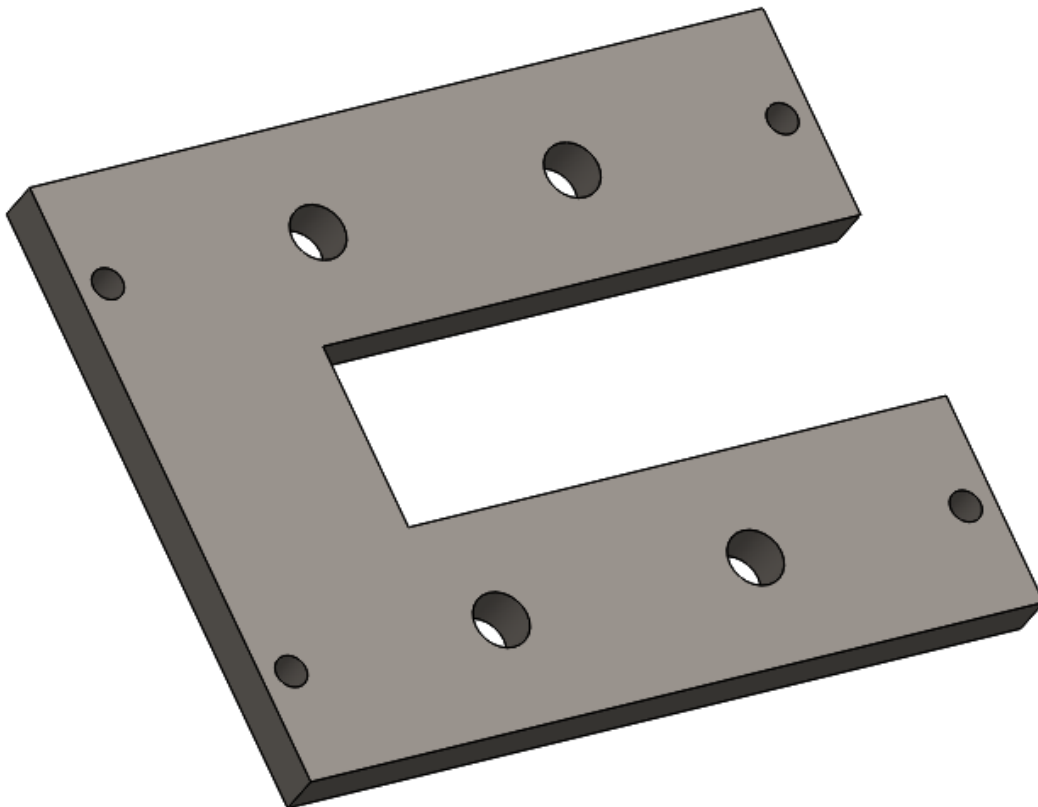


Fig.6: Soporte para tercer rodamiento.

Actividad N° 7: Simulación de Rotor Kit de elementos finitos.

Modelo

La modelación del rotor kit se realizó mediante elementos finitos, en este caso utilizando el software “Heron”. Esta actividad tiene como objetivo conocer el comportamiento del sistema antes de su fabricación, en este caso antes de su reparación.

Dimensiones Generales:

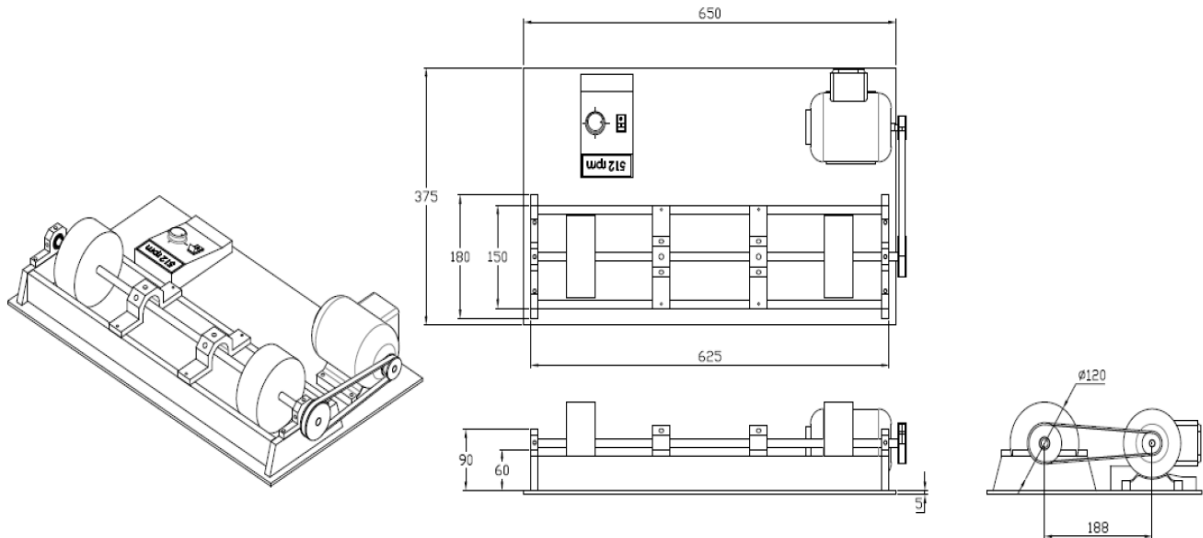


Fig.7.

Componentes principales:

- ✓ Eje flexible de 10 mm de diámetro, 600 mm de largo hecho con acero SAE 4140.
- ✓ Dos discos de acero de 120 mm de diámetro y 50 mm de espesor.

Podremos conocer la deformación del eje por el propio peso, la frecuencia de los modos de vibrar, y las amplitudes y fases de las vibraciones que tendrá el eje al pasar por las velocidades críticas con distintos desbalances y posiciones de las masas. Conocer todos estos datos es de gran importancia ya que podremos asegurar que el eje sea flexible, es decir que pase por una o más velocidades críticas.

Además nos garantiza un buen funcionamiento del sistema evitando que se dañen componentes del mismo equipo o incluso componentes de medición como pueden ser los sensores.

Para este caso se modelaron dos configuraciones distintas del rotor kit poniendo las masas en distintos lugares. (Fig. 5 y 6).

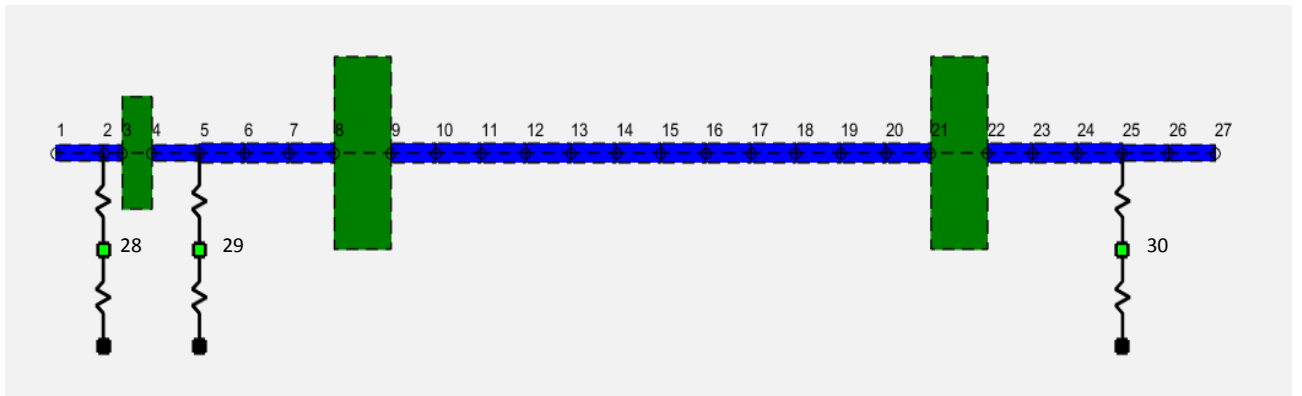


Fig.8: Masas en los extremos.

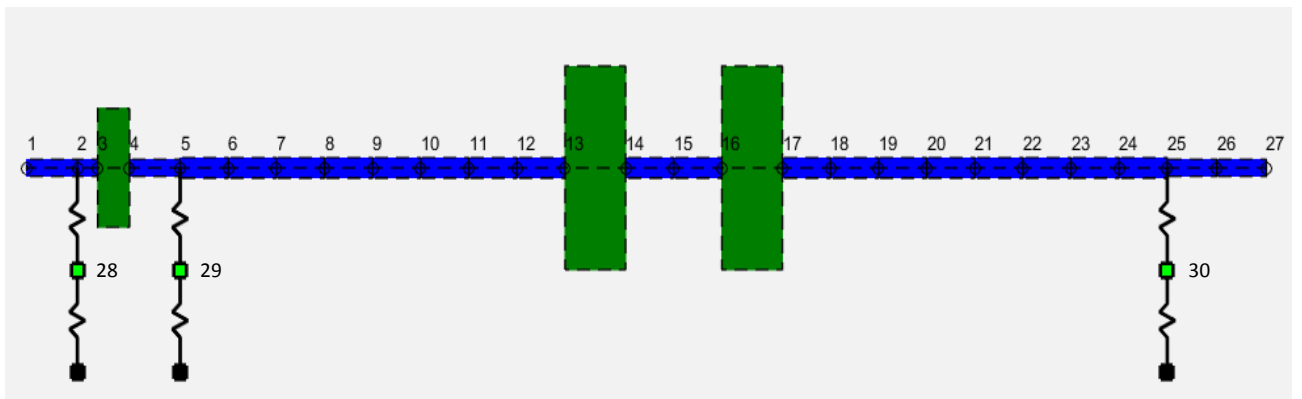


Fig. 9: Masas en el centro.

Desarrollo

Para comenzar, en ambas configuraciones, se calculó la deflexión del eje por su propio peso y la frecuencia de los primeros tres modos para obtener las velocidades críticas. También se realizó un mapeo de las velocidades críticas, es decir como varia la frecuencia de los modos de vibrar al variar la rigidez de los apoyos.

Luego se plantean 4 casos de desbalance, donde de cada uno tomamos amplitud y Angulo de fase referidos al nodo 6 y 24 porque en esa posición se colocaran los sensores en la realidad. Además se registran las reacciones en los nodos 29 y 30, es decir en los apoyos.

- Caso 1: Desbalance en 1 masa, 10 g, R 50 mm, 0° .
- Caso 2: Desbalance en 2 masas, sentido igual, 10 g, R 50 mm, 0° y 0° .
- Caso 3: Desbalance en 2 masas, sentido opuesto, 10 g, R 50 mm, 0° y 180° .
- Caso 4: Desbalance en polea, 10 g, R 35 mm, 0° .

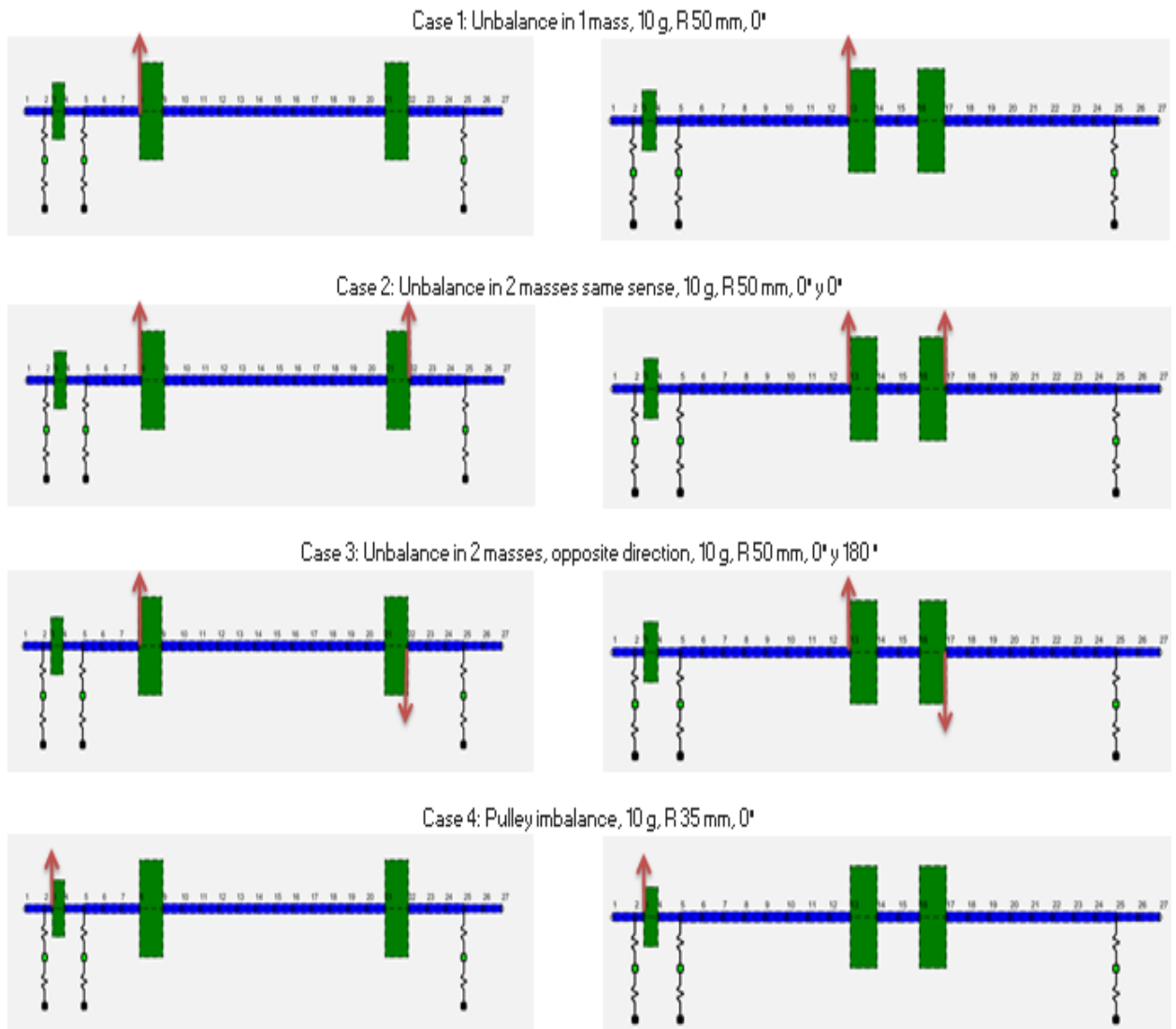


Fig. 10.

Análisis de resultados

Luego de realizar todos los ensayos deseados procedemos a comparar los resultados obtenidos de las distintas configuraciones planteadas para el mismo sistema, y cómo se comportan las mismas ante distintos caso de desbalanceo.

- **Gravity Sag:** Con las masas situadas en los extremos se obtuvo una deflexión mínima de -0,48 mm y una deflexión máxima de 0,18 mm, en cambio con las masas situadas en el centro se obtuvo una deflexión mínima de -0,8 mm y una deflexión máxima de 0,29 mm. En resumen mientras ubiquemos las masas más en el centro mayor será la deformación. (Ver Fig. 1 y 2 – Anexo II)
- **Critical Speed:**

Configuración	Modo 1		Modo 2		Modo 3	
	Hertz	RPM	Hertz	RPM	Hertz	RPM
Masas en los extremos	27,68	1660,8	64,79	3887,4	158,36	9501,6
Masas en el centro	18,1	1085	71,43	4285	135,9	8154

Tabla 8. Velocidades Críticas.

Se puede observar que al cambiar la posición de las masas cambian las velocidades críticas. Al alejar las masas del centro la 1^{er} velocidad crítica aumenta y la 2^{da} disminuye, esto se debe a la forma del modo de vibrar en cada caso justamente. Como la velocidad máxima del rotor Kit es 4000 RPM, la disposición de las masas juega un papel fundamental respecto a cruzar la 2^{da} velocidad crítica o no. (Ver Fig. 3 y 4 – Anexo II)

- **Critical Speed Map:** En este punto se realiza un mapeo de la velocidad crítica según la variación de rigidez en los apoyos.
Con la rigidez utilizada estamos ubicados en una zona, donde el eje domina el comportamiento del sistema. Al disminuir la rigidez de los apoyos el eje ya no domina totalmente el sistema si no que se ve afectado en gran medida por los rodamientos. (Ver Fig. 5 y 6 – Anexo II)

- **Unbalance response:** Armamos un cuadro comparativo donde se muestran los valores máximos de amplitud y fuerza, con su respectiva fase para cada caso. (Ver de Fig.7 a Fig.14 – Anexo II)

Node	RPM		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Node	RPM	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
6	1500	Amplitude microns Pk-Pk	268,3	742	205,5	7,45	6	1100	230	503,7	41,8	1,44
		Phase Angle °	90	90	-90	-90			90	90	-90	-90
	3500	Amplitude microns Pk-Pk	1962	100,9	3822	58,23		3250	1707	502,4	4375	40,52
		Phase Angle °	-90	-90	-90	90			-90	-90	90	90
24	1500	Amplitude microns Pk-Pk	651,3	1741	438,8	18,25	24	1100	403,6	1240	86,98	3,88
		Phase Angle °	90	90	-90	-90			90	90	-90	-90
	3500	Amplitude microns Pk-Pk	2592	143	5040	76,44		3250	2923	924	7428	67,58
		Phase Angle °	90	90	90	-90			90	90	90	-90
29	1500	Reaccions N Pk-Pk	594,8	1671	481,1	23,34	29	1100	363,1	1134	96,09	5,64
		Phase Angle °	90	90	90	90			270	270	180	90
	3500	Reaccions N Pk-Pk	5494	355	10630	125,8		3250	4707	1396	12050	90,08
		Phase Angle °	-90	-270	90	270			90	90	180	-90
30	1500	Reaccions N Pk-Pk	154,2	373	82,53	4,07	30	1100	78,82	240,5	15,18	0,764
		Phase Angle °	90	-90	-270	-270			270	270	90	-270
	3500	Reaccions N Pk-Pk	1744	15,17	3472	51,43		3250	1334	408,3	3403	30,9
		Phase Angle °	-90	-90	-450	-270			270	90	-90	-270

Tabla.9.

Los resultados obtenidos de la simulación de un desbalance nos muestran la importancia de que el conjunto rotante sea correctamente construido y balanceado antes de ponerse en funcionamiento, ya que con solo un desbalance de 10g tenemos amplitudes del orden de los milímetros, lo cual nos puede ocasionar daños en los componentes propios del sistema como así también en los sensores utilizados para la medición.

Las reacciones en los apoyos son de utilidad para saber a qué cargas van a estar sometidos los mismo y como los debemos fijar a la base.

CONCLUSIONES:

Aspectos laborales:

Mecanálisis S.A. es una empresa dedicada a brindar servicios, es decir que en el lugar de trabajo se realiza ingeniería en detalle y planificación de los proyectos que se van a realizar, para esto se utilizan algunos software como Inventor para la realización de diseños y Matlab para modelar y realizar cálculos en sitio.

Por esta razón en la empresa solo cuenta con herramientas sencillas, sensores adquisidores de datos. Además Mecanálisis tiene una máquina balanceadora transportable MBM-100, la cual ofrece grande ventajas a sus clientes, para realizar tareas de mano de obra pesada como podría ser el movimiento de rotores de gran tamaño se deja en manos del cliente o se terceriza.

Durante el periodo que estuve dentro de la empresa, surgió la oportunidad de hacer una licitación para ampliar la zona de mantenimiento de fibra óptica, de la cual no tuve participación pero tuve la oportunidad de asistir a una reunión con gente de la empresa licitadora y de observar cómo se manejan en esas situaciones.

Aspectos Profesionales y Social-Humano:

Respecto a mis relaciones interpersonales fueron muy buenas tanto desde el punto de vista laboral como del social-Humano, esto facilita la comunicación interna dentro de la empresa a la hora de trabajar y de resolver problemas.

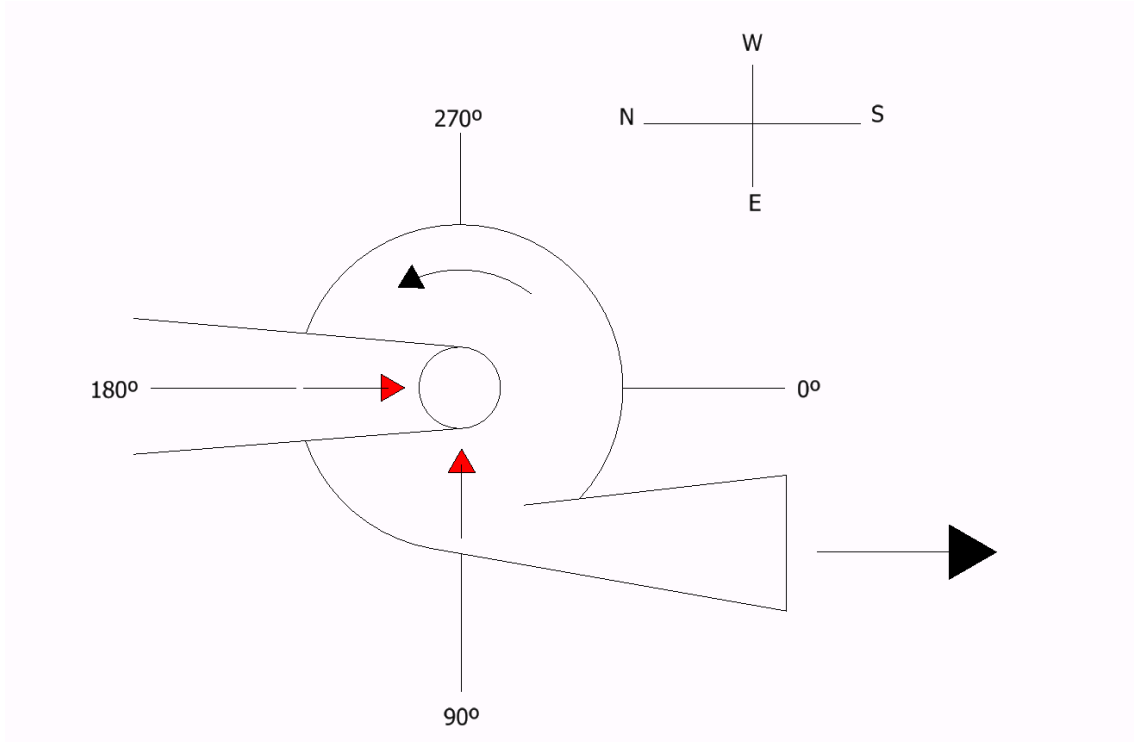
En la empresa me dieron tareas de las cuales tuve que asumir la responsabilidad de realizarlas de manera correcta y de no ser así ante cualquier inconveniente consultar a mi tutor, esta responsabilidad me gusto por que sentí que estaba colaborando con los proyectos a realizar y a la vez estaba aprendiendo y formándome como profesional.

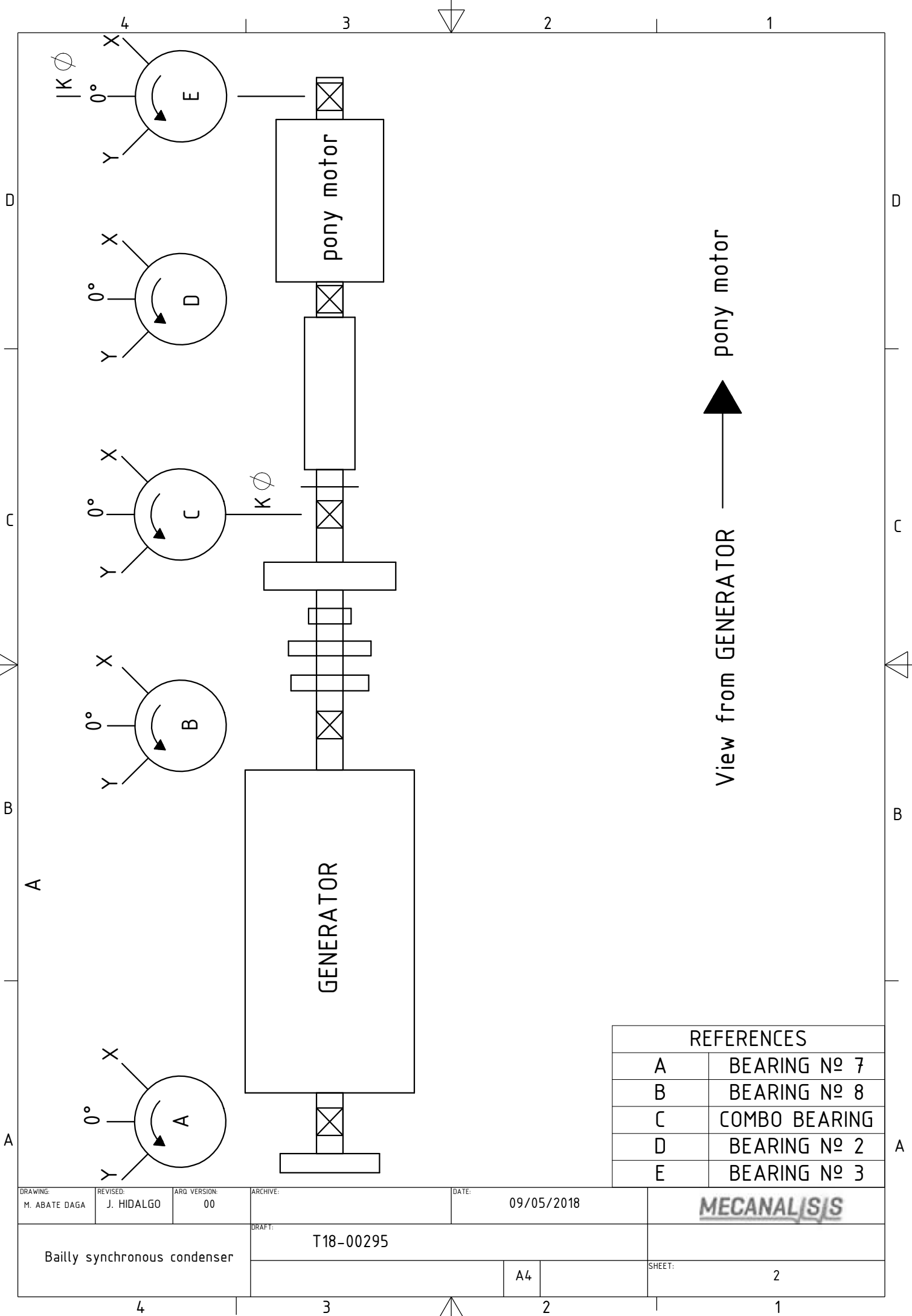
BIBLIOGRAFIA

- **Julio C. Massa, Carlos A. Pratto.** Analisis Estructural
- **Julio C. Massa.** Compendio de Calculo Estructural
- **Kalpakjian S., Schmid S.** Manufactura, Ingeniería y Tecnología
- **Nicolás L. Arrizabalaga.** Maquinas Prontuario

ANEXOS

ANEXO I: Planos

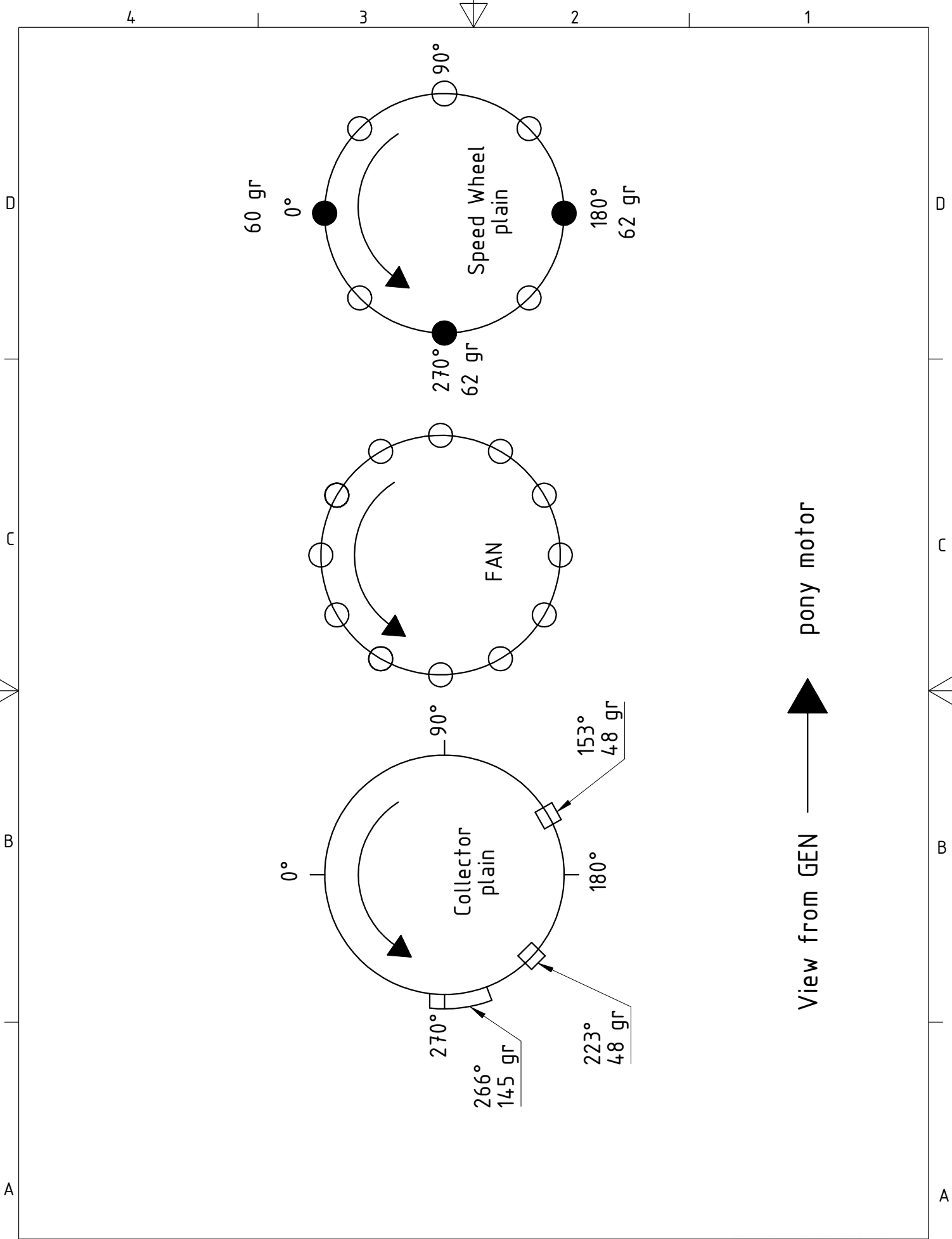




View from GENERATOR → pony motor

REFERENCES	
A	BEARING Nº 7
B	BEARING Nº 8
C	COMBO BEARING
D	BEARING Nº 2
E	BEARING Nº 3

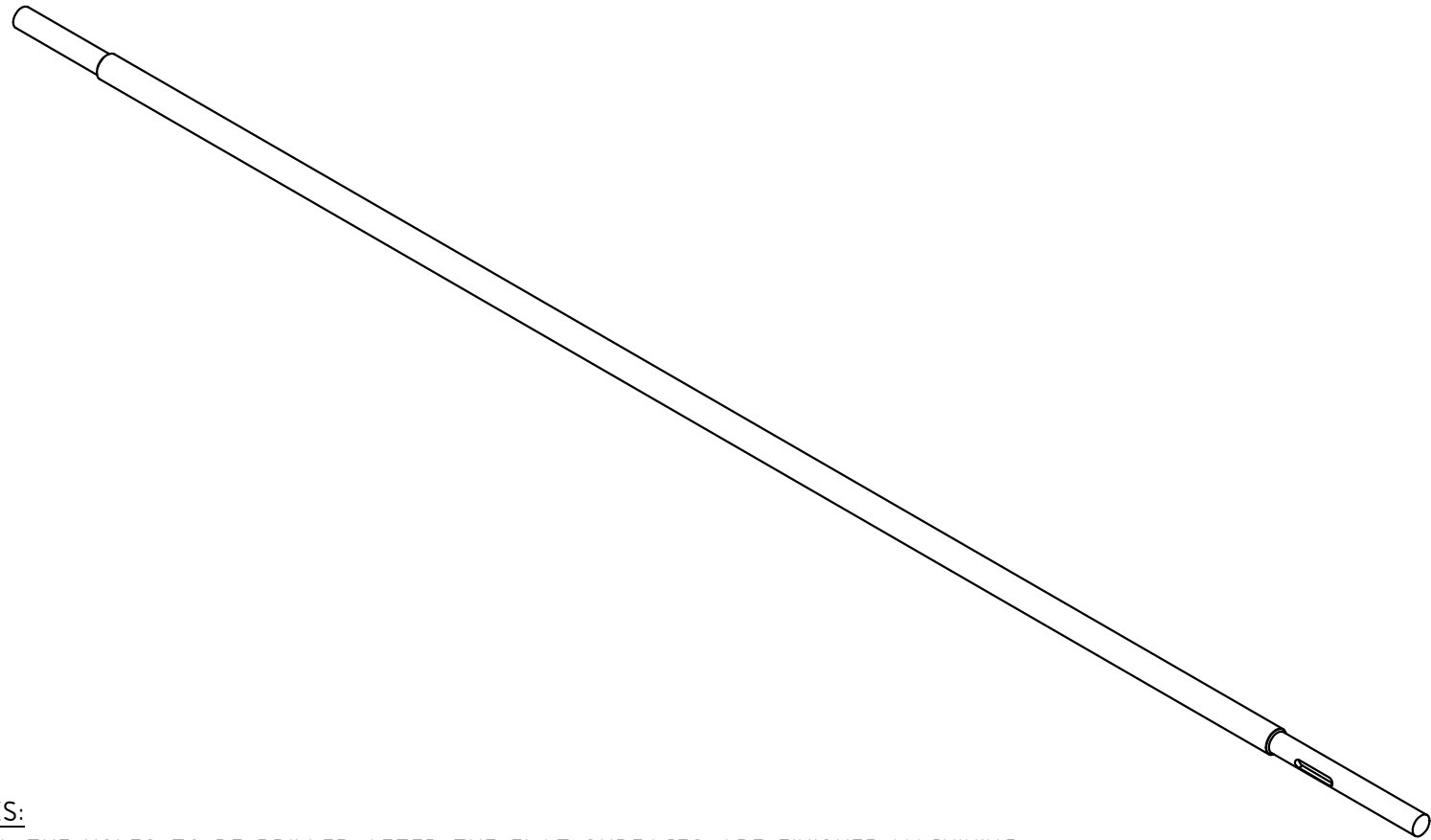
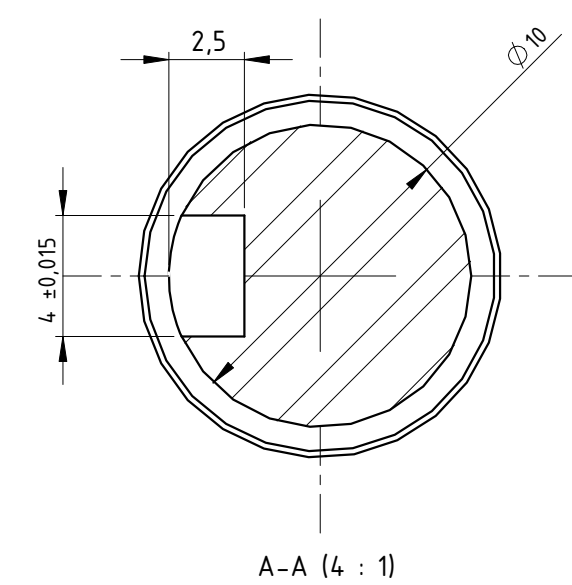
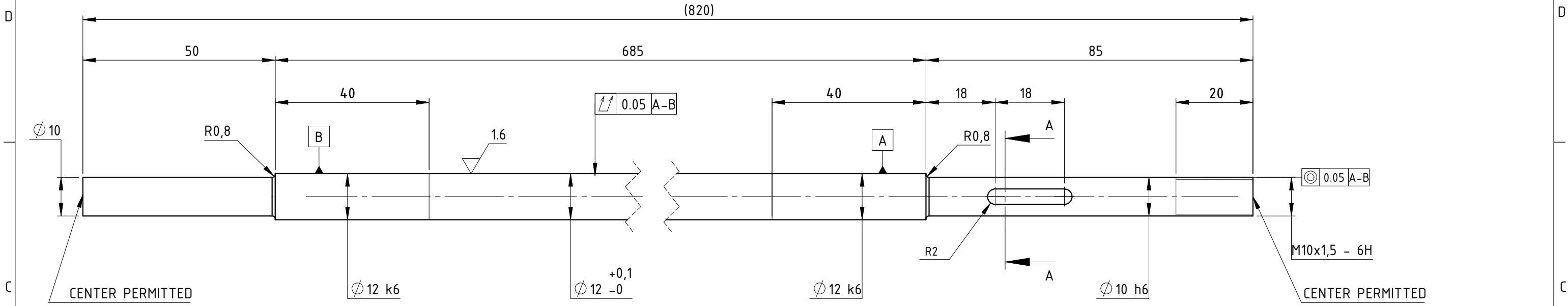
DRAWING: M. ABATE DAGA	REVISED: J. HIDALGO	ARG. VERSION: 00	ARCHIVE:	DATE: 09/05/2018	MECANAL/S/S
Baily synchronous condenser			DRAFT: T18-00295		
			A4	SHEET: 2	



DRAWING: M. ABATE DAGA	REVISED: J. HIDALGO	ARG. VERSION: 00	ARCHIVE:	DATE: 09/05/2018	MECANAL/S/S
Bailly synchronous condenser			DRAFT: T18-00295		
			A4	SHEET: 1	

REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
00			

GENERAL TOLERANCES ISO 2768-fH (mm)					
0,5 up to 3	over de 3 up to 6	over 6 up to 30	over 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1000
+/- 0,05	+/-0,05	+/-0,1	+/-0,15	+/-0,2	+/-0,3



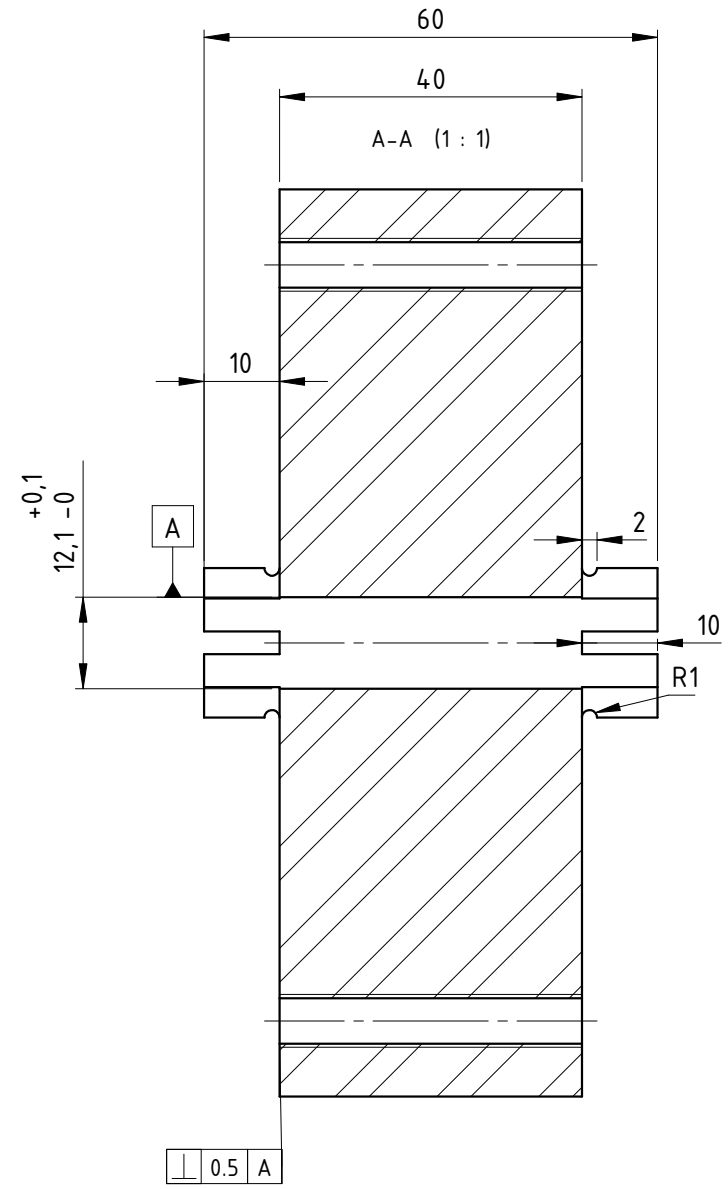
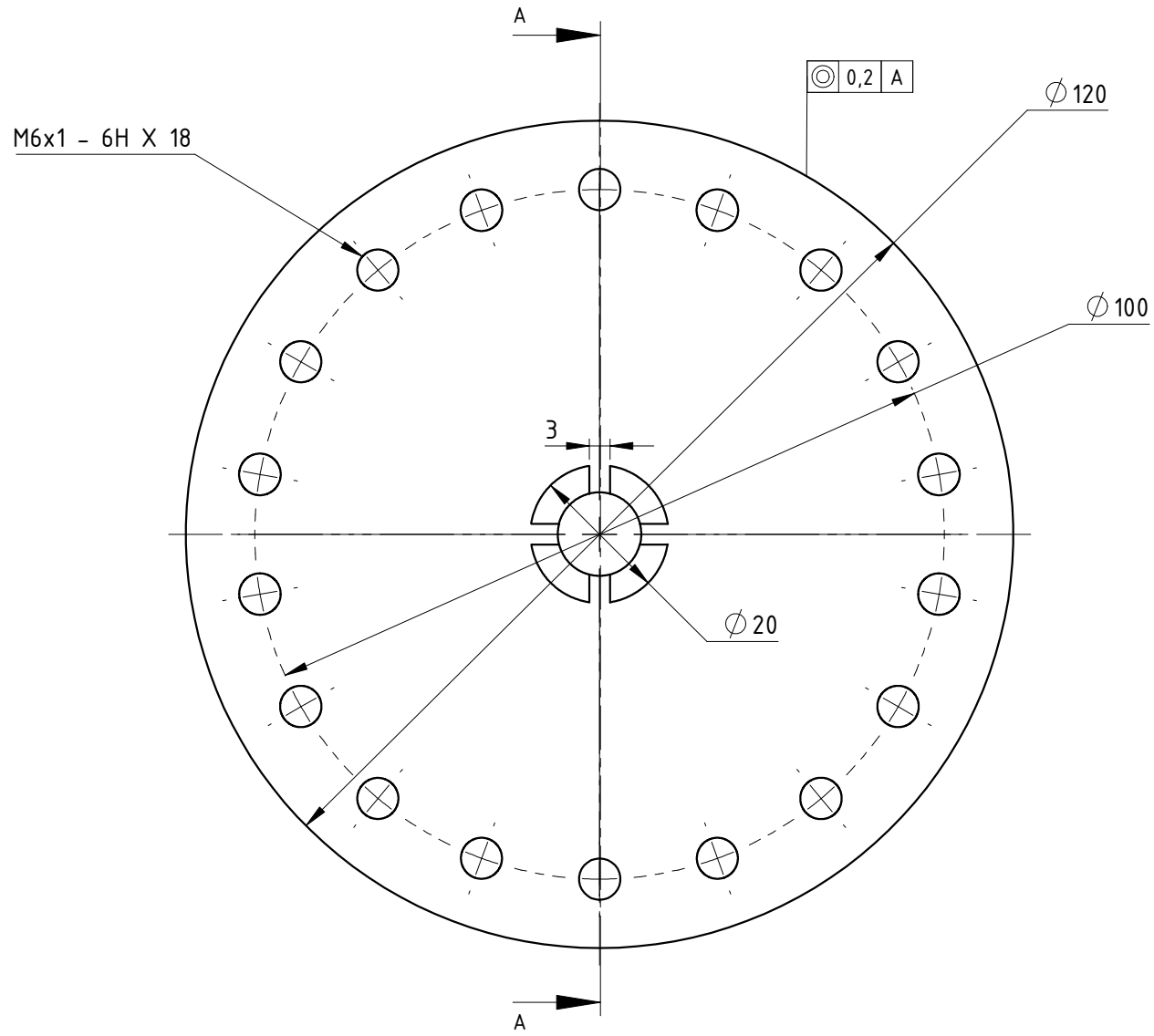
NOTES:
1. ALL THE HOLES TO BE DRILLED AFTER THE FLAT SURFACES ARE FINISHED MACHINING.

1	Steel, 4140 Q&T	0,690 kg
QTY	MATERIAL	MASS

DIBUJO: M. ABATE DAGA	REVISO: J. HIDALGO	VERSION ARG: 00	ARCHIVO: RK-100.100.01.dwg	FECHA: 17/04/2018		
PROYECTO: Rotor Kit				PLANO No.: RK-100.100.01		
Shaft			ESTÁ IMPRESION ES PROPIEDAD DE MECANALIS S.A LA MISMA NO PUEDE SER UTILIZADA NI REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA.	A3	ESCALA: 1 : 1	HOJA: 1

REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
00			

GENERAL TOLERANCES ISO 2768-fH (mm)					
0.5 up to 3	over 3 up to 6	over 6 up to 30	over 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1000
+/- 0,05	+/-0,05	+/-0,1	+/-0,15	+/-0,2	+/-0,3



NOTES:
 1. ALL THE HOLES TO BE DRILLED AFTER THE FLAT SURFACES ARE FINISHED MACHINING.

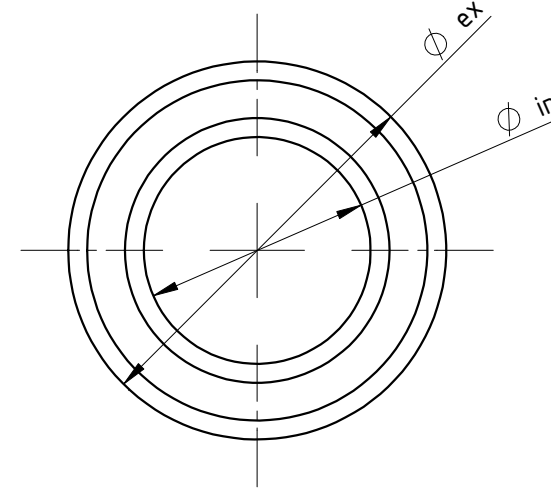
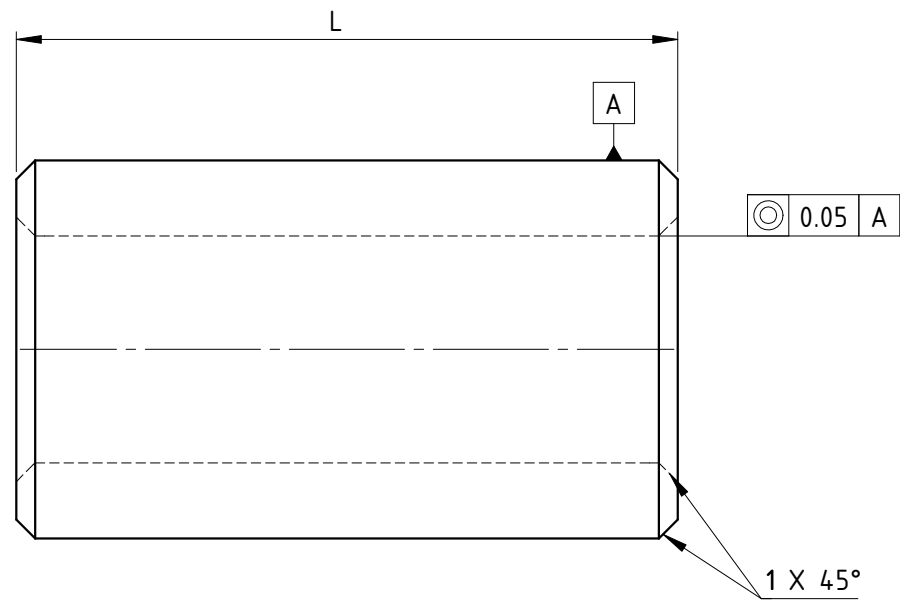
2	Steel, AISI 1020	3,340 kg
QTY	MATERIAL	MASS

MECANAL/S/S

DIBUJO: M. ABATE DAGA	REVISO: J. HIDALGO	VERSION ARQ.: 00	ARCHIVO: RK-100.100.02.dwg	FECHA: 17/04/2018	PLANO No.: RK-100.100.02
Balancing Disk			Rotor Kit		HOJA: 1
ESTA IMPRESION ES PROPIEDAD DE MECANALISIS S.A LA MISMA NO PUEDE SER UTILIZADA NI REPRODUCIDA SIN AUTORIZACION PREVIA.			ESCALA: 1 : 1		

REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
00			

GENERAL TOLERANCES ISO 2768-fH (mm)					
0.5 up to 3	over de 3 up to 6	over 6 up to 30	over 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1000
+/- 0,05	+/-0,05	+/-0,1	+/-0,15	+/-0,2	+/-0,3



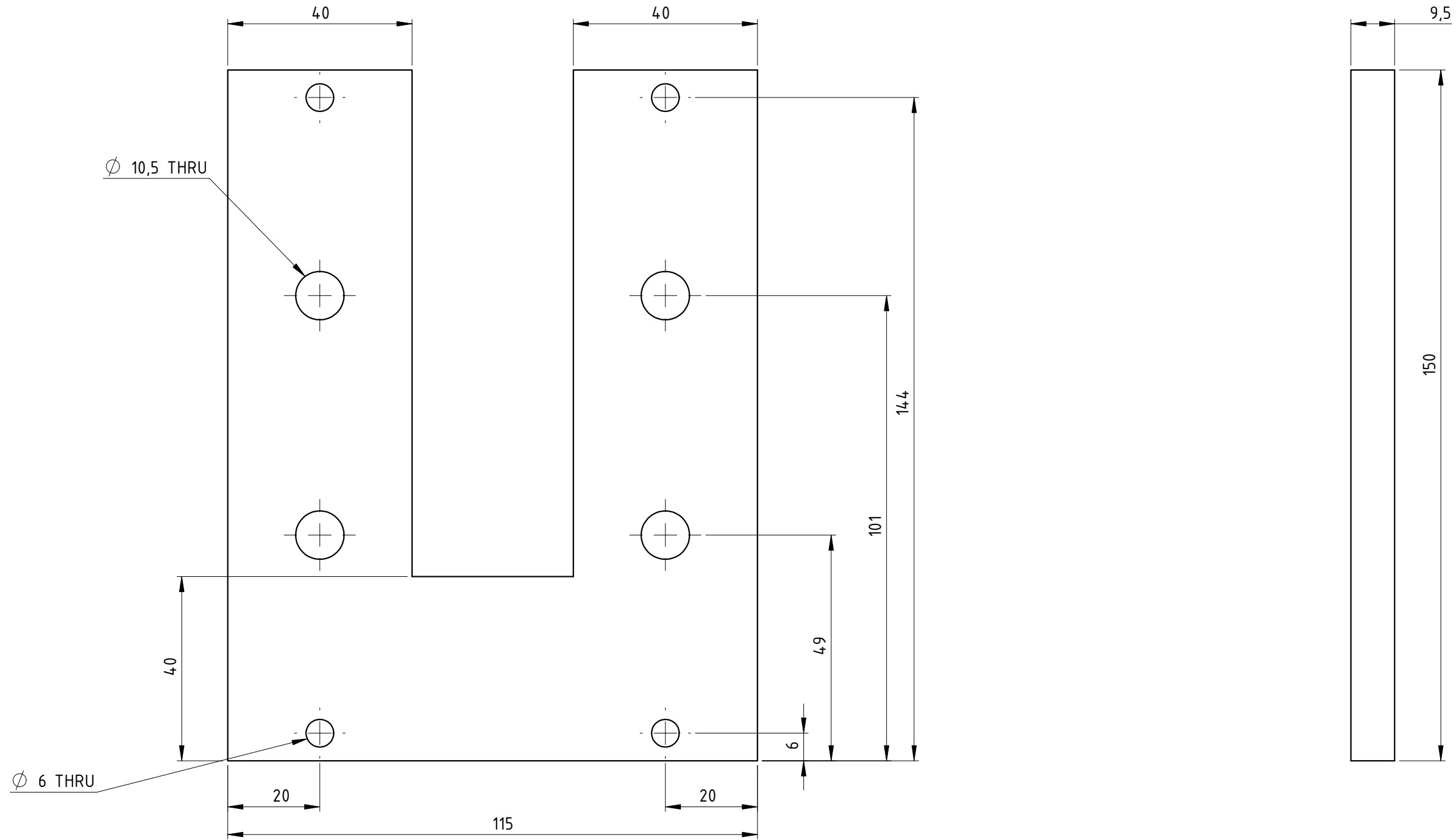
QTY	L	ϕ_{ex}	ϕ_{in}	MASS
2	35	20 j6	12 J7	0,054 kg
1	30	20 j6	10 J7	0,046 kg
MATERIAL				Steel, AISI 1020
PARTS LIST				

NOTES:
1. ALL THE HOLES TO BE DRILLED AFTER THE FLAT SURFACES ARE FINISHED MACHINING.

DIBUJO: M. ABATE DAGA	REVISO: J. HIDALGO	VERSION ARG.: 00	ARCHIVO: RK-100.100.04.dwg	FECHA: 17/04/2018	MECANAL/S/S
Sleeve			PROYECTO: Rotor Kit	PLANO No.: RK-100.100.04	
ESTA IMPRESION ES PROPIEDAD DE MECANALISIS S.A LA MISMA NO PUEDE SER UTILIZADA NI REPRODUCIDA SIN AUTORIZACION PREVIA.				ESCALA: 2,5 : 1	HOJA: 1

REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
00			

GENERAL TOLERANCES ISO 2768-fH (mm)					
0.5 up to 3	over 3 up to 6	over de 6 up to 30	over de 30 up to 120	over 120 up to 400	over 400 up to 1000
+/- 0,05	+/-0,05	+/-0,1	+/-0,15	+/-0,2	+/-0,3



1	Steel, AISI 1010	0,967 kg
QTY	MATERIAL	MASS
PARTS LIST		

DIBUJO: M. ABATE DAGA	REVISO: J. HIDALGO	VERSION ARG: 00	ARCHIVO: RK-100.100.05.dwg	FECHA: 17/04/2018	
2 Bearings Support			PROYECTO: Rotor Kit	PLANO No.: RK-100.100.05	
<small>ESTA IMPRESION ES PROPIEDAD DE MECANALISIS S.A LA MISMA NO PUEDE SER UTILIZADA NI REPRODUCIDA SIN AUTORIZACION PREVIA.</small>				ESCALA: 1 : 1	HOJA: 1

NOTES:
1. ALL THE HOLES TO BE DRILLED AFTER THE FLAT SURFACES ARE FINISHED MACHINING.

ANEXO II: Gráficos-Rotor Kit.

Gravity Sag:

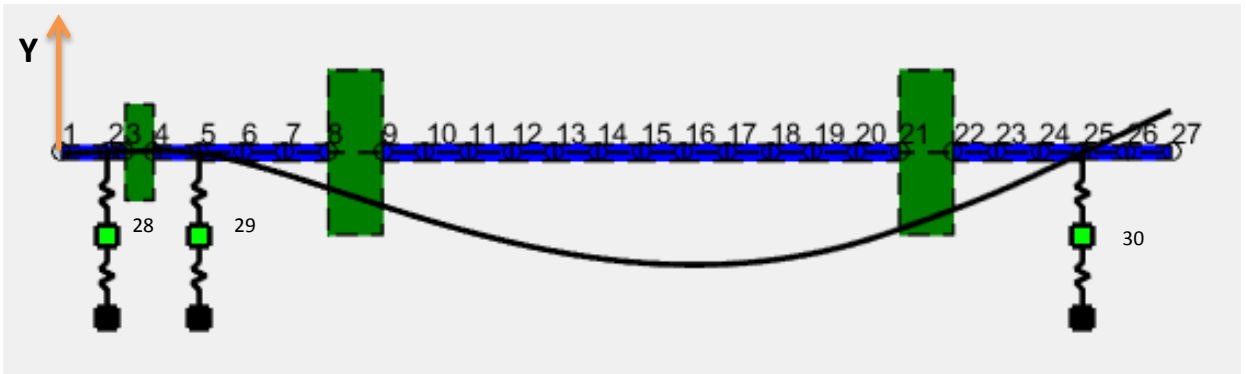


Fig.1.

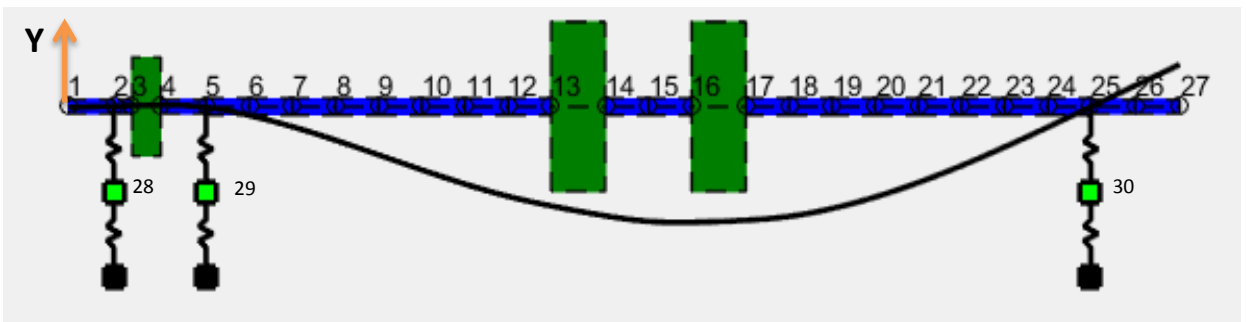


Fig.2.

Critical Speed

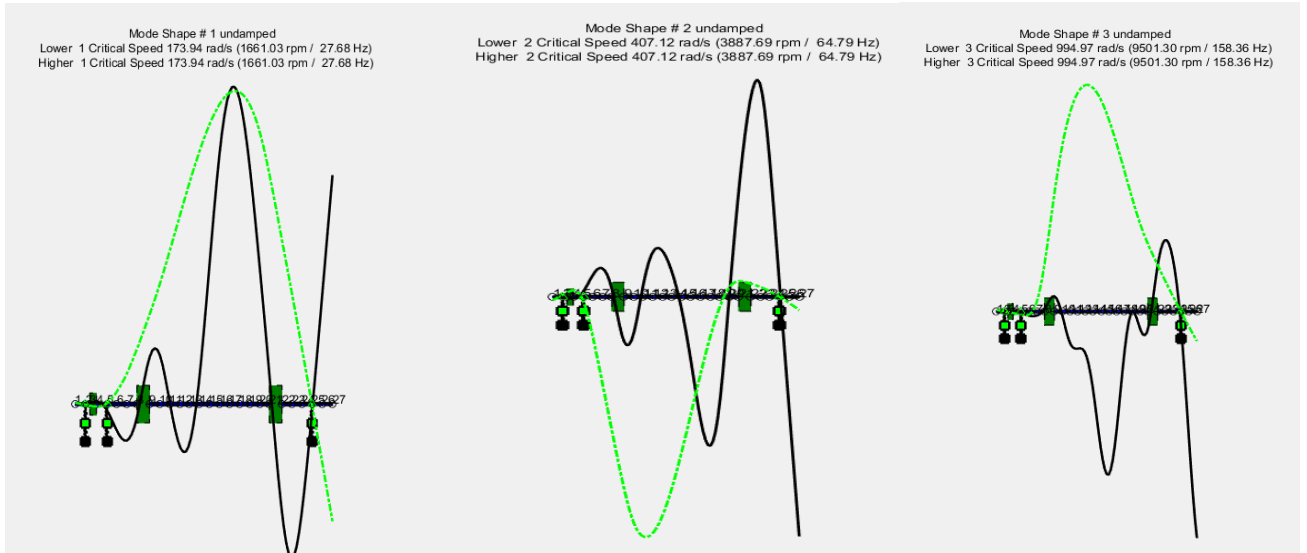


Fig.3.

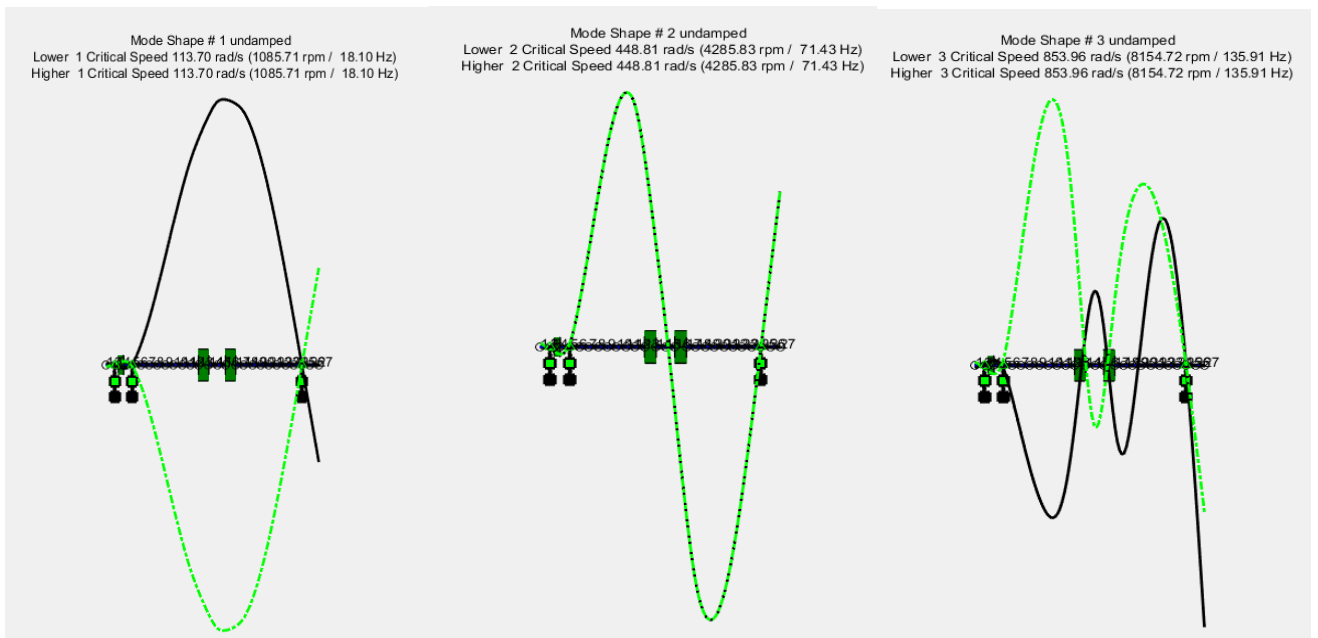


Fig.4.

Critical Speed Map

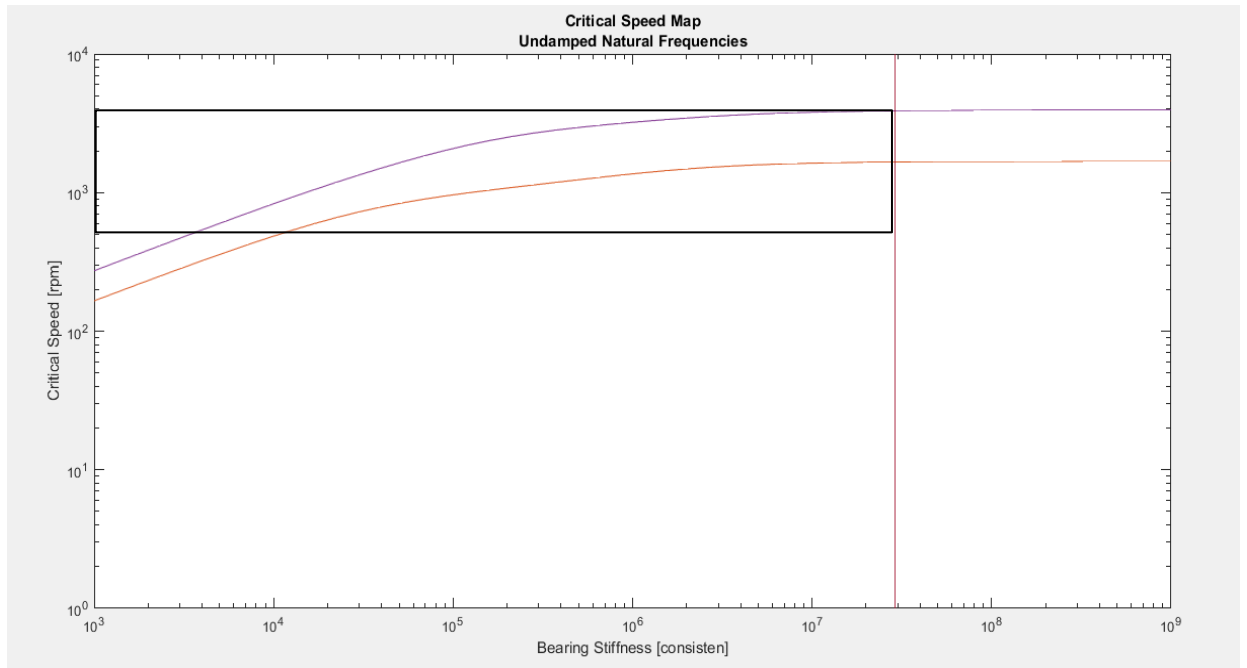


Fig.5: Mass in the extremes.

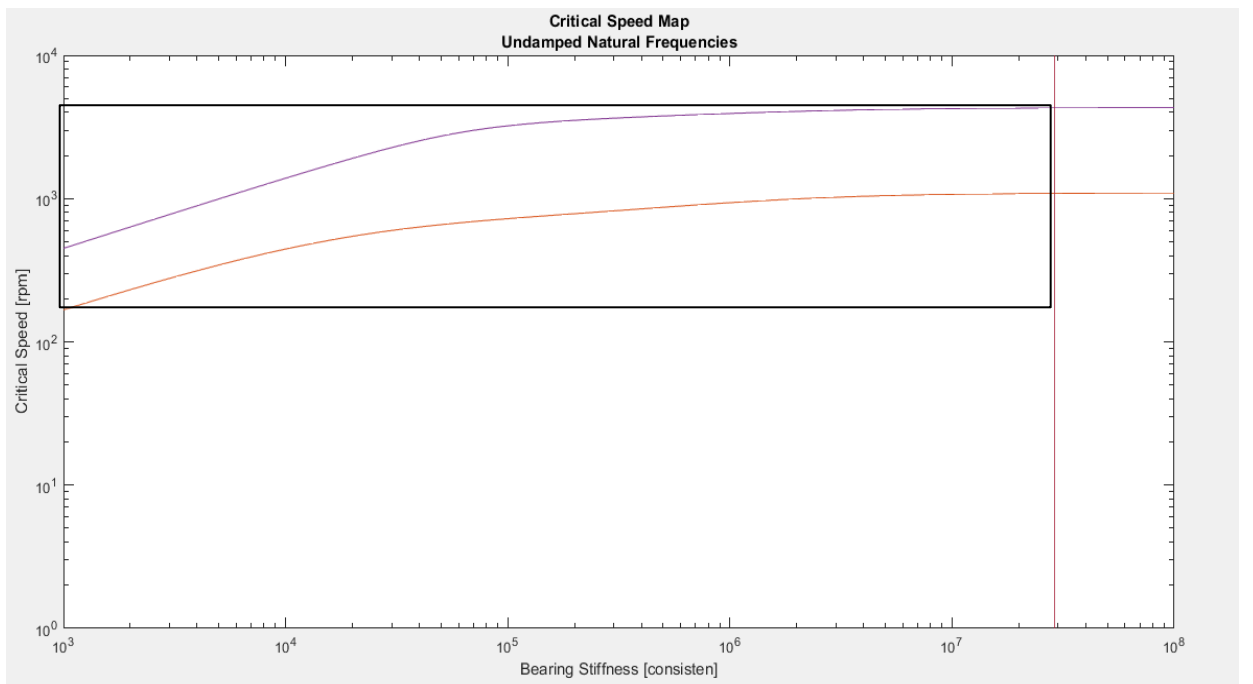


Fig.6: Mass in the center

Unbalance response

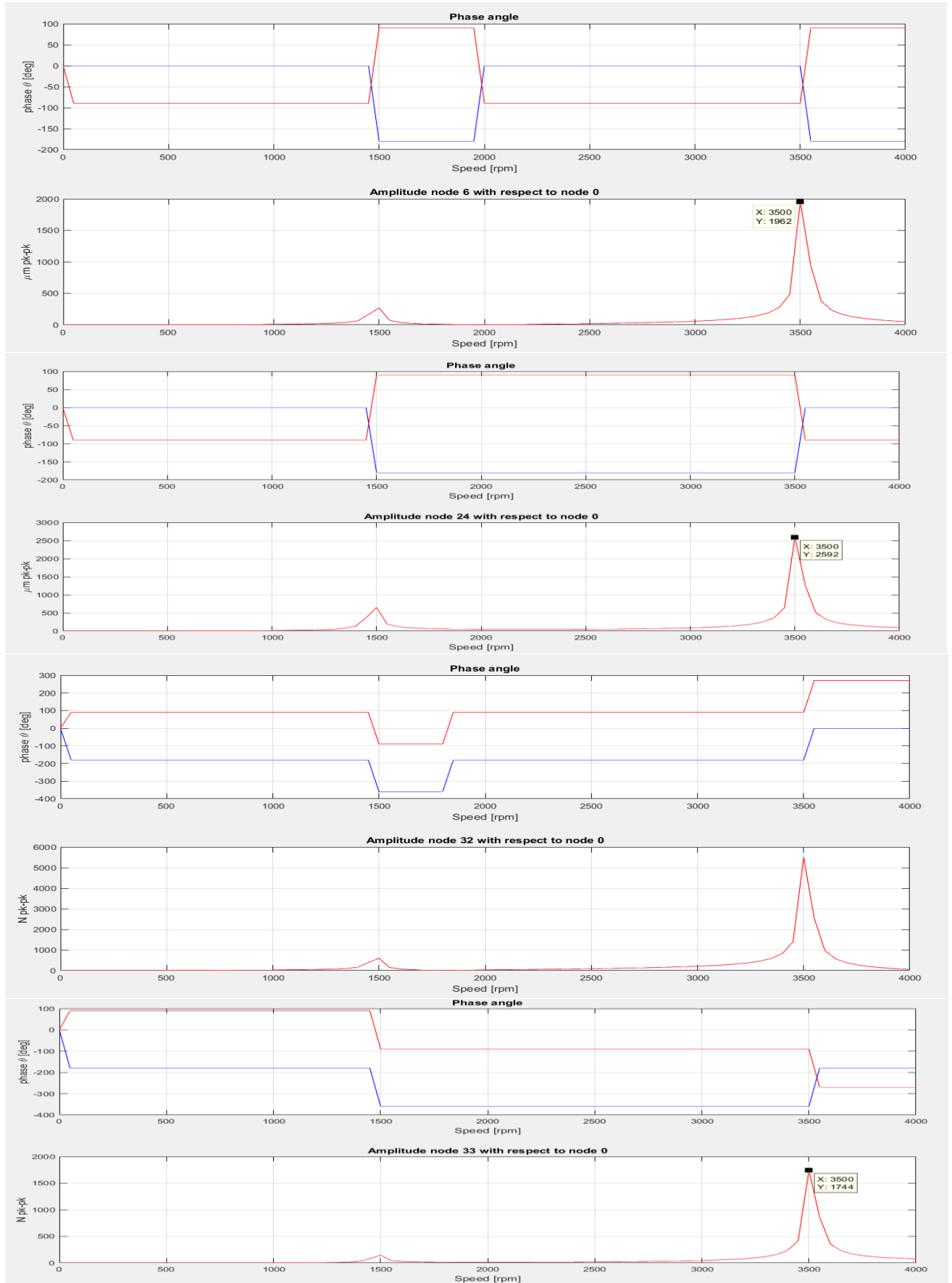


Fig.7: Mass in the extremes. Case 1: Unbalance in 1 mass, 10 g, R 50 mm, 0°

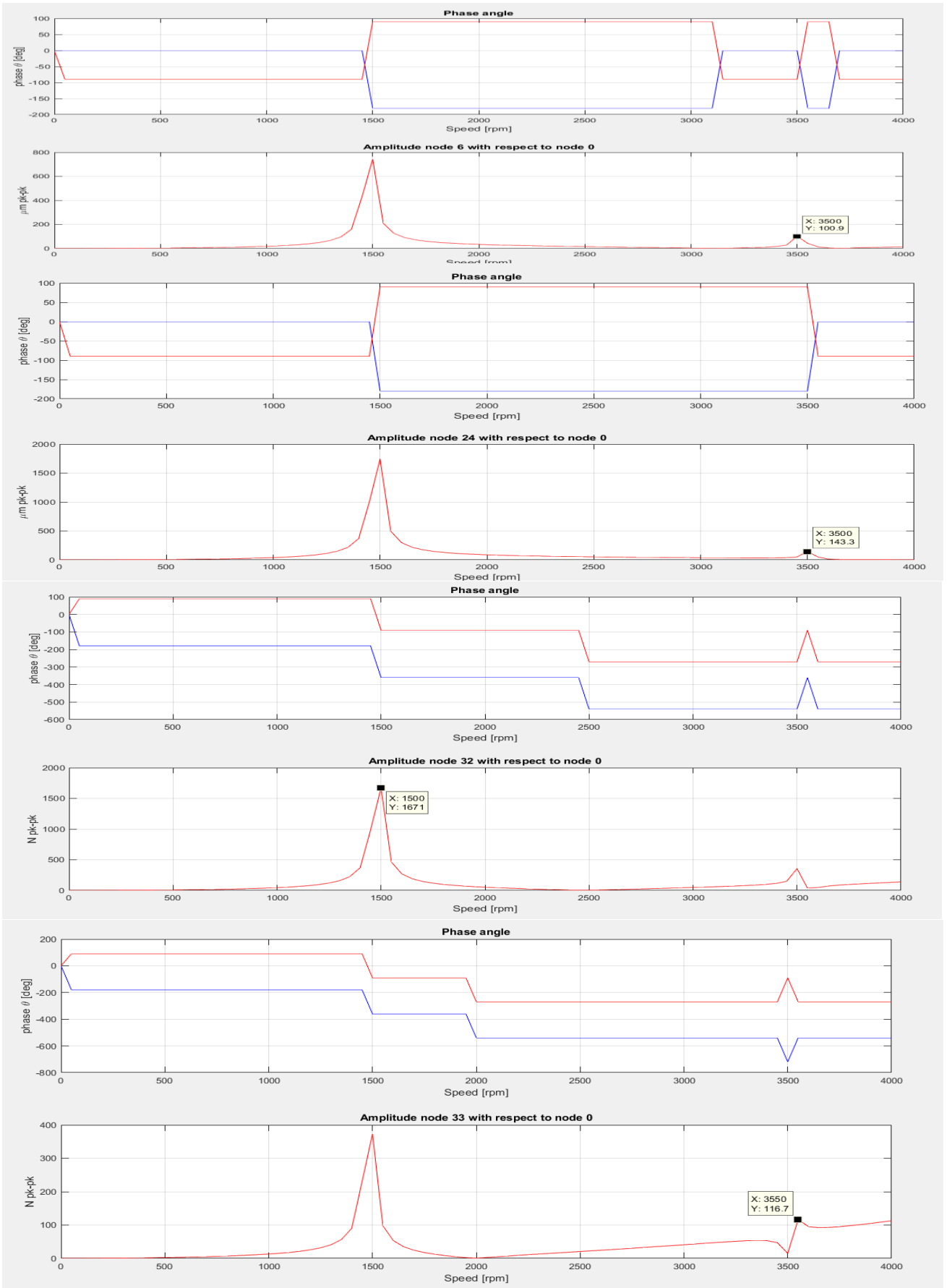


Fig.8: Mass in the extremes. Case 2: Unbalance in 2 masses same sense, 10 g, R 50 mm, 0° y 0°

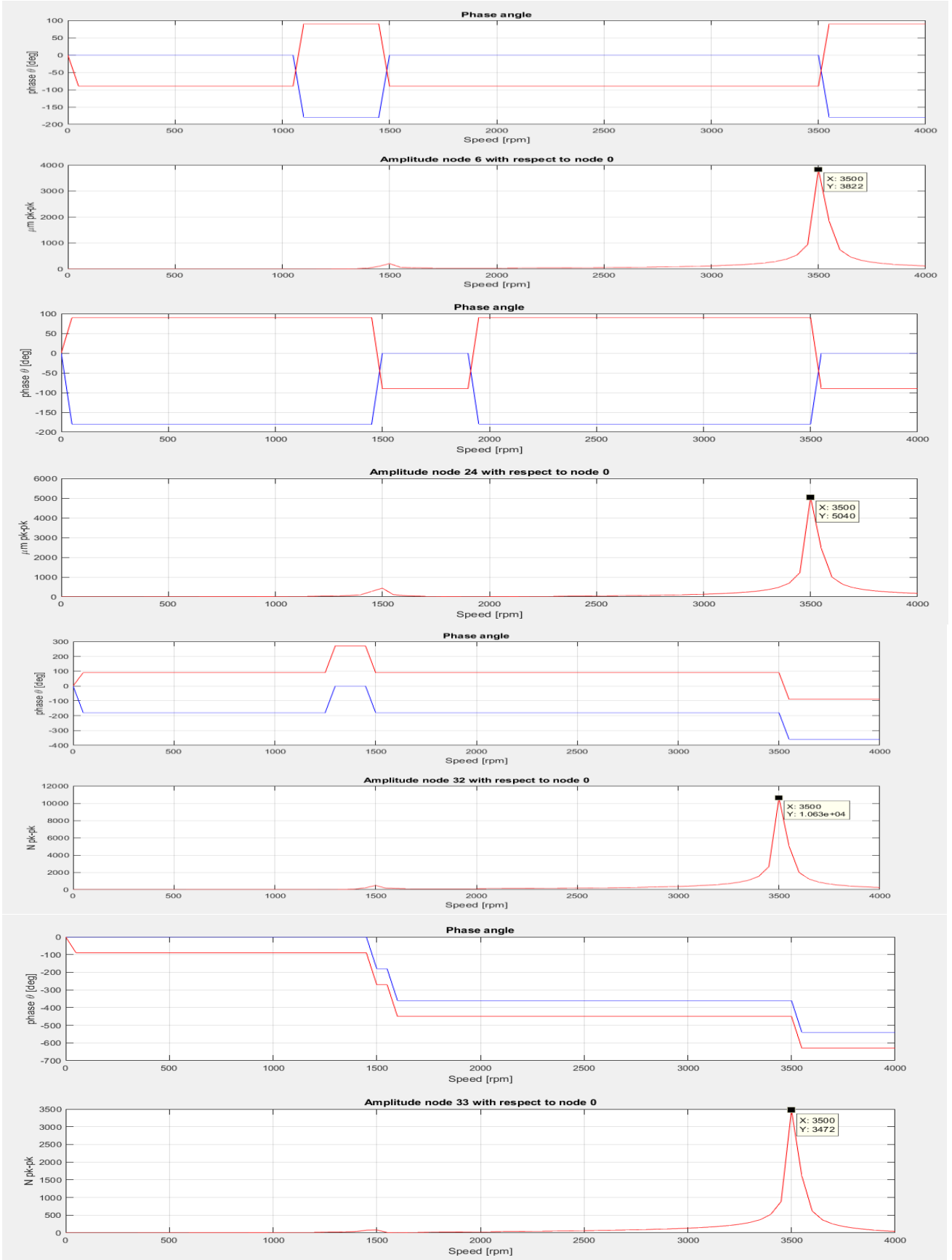


Fig.9: Mass in the extremes. Case 3: Unbalance in 2 masses, opposite direction, 10 g, R 50 mm, 0° y 180°

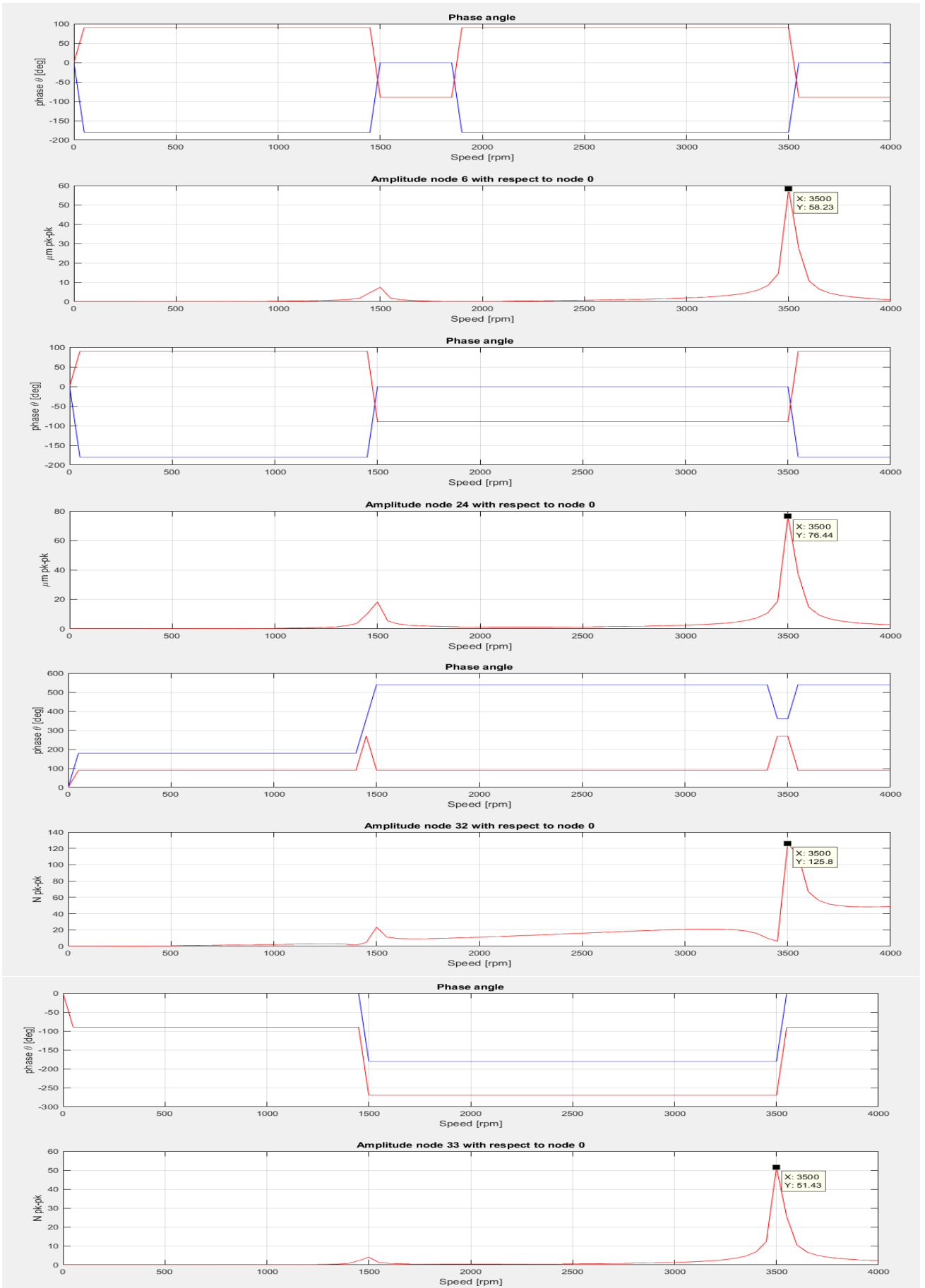


Fig.10: Mass in the extremes. Case 4: Pulley imbalance, 10 g, R 35 mm, 0°

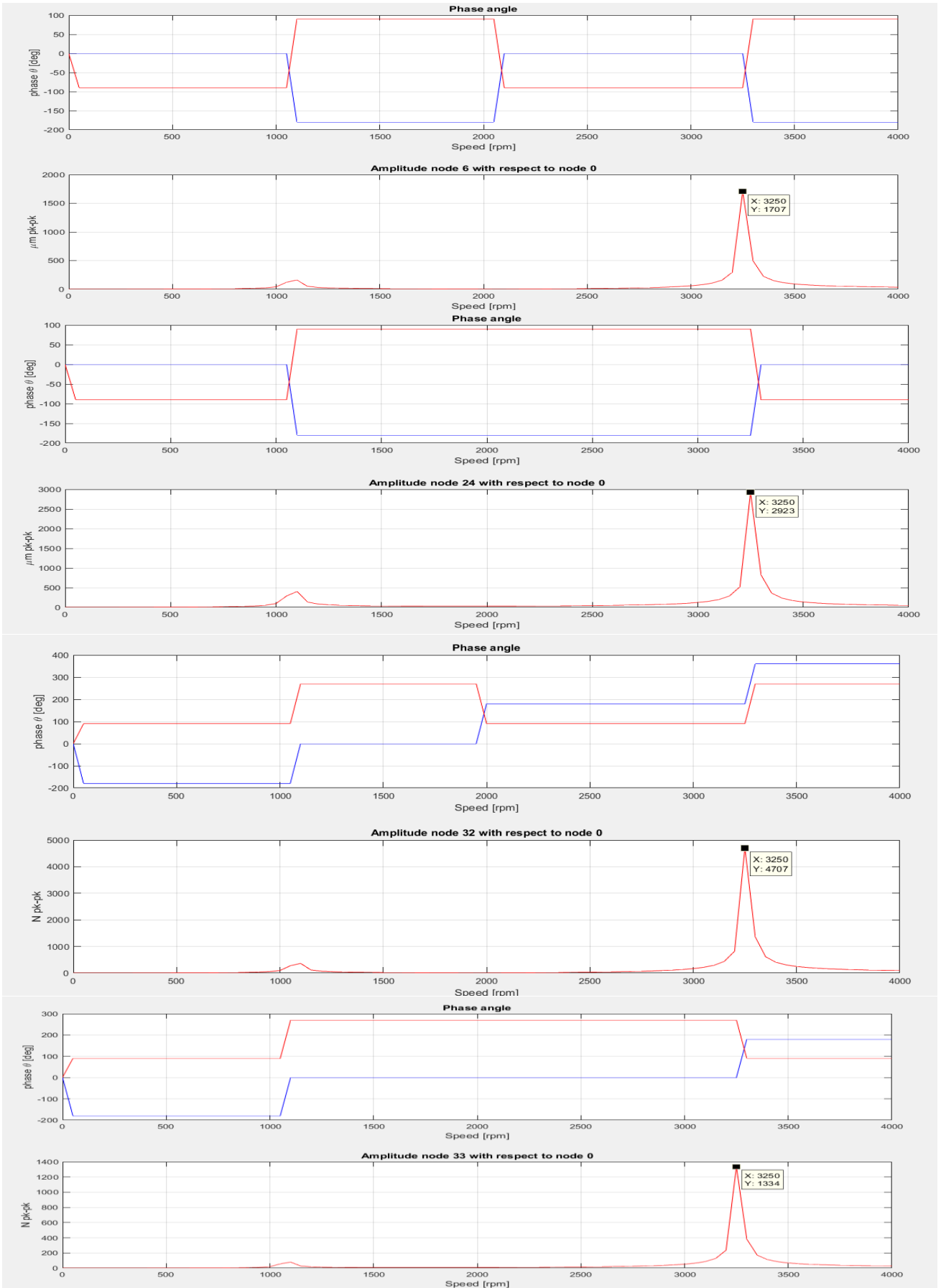


Fig.11: Mass in the center. Case 1: Unbalance in 1 mass, 10 g, R 50 mm, 0°

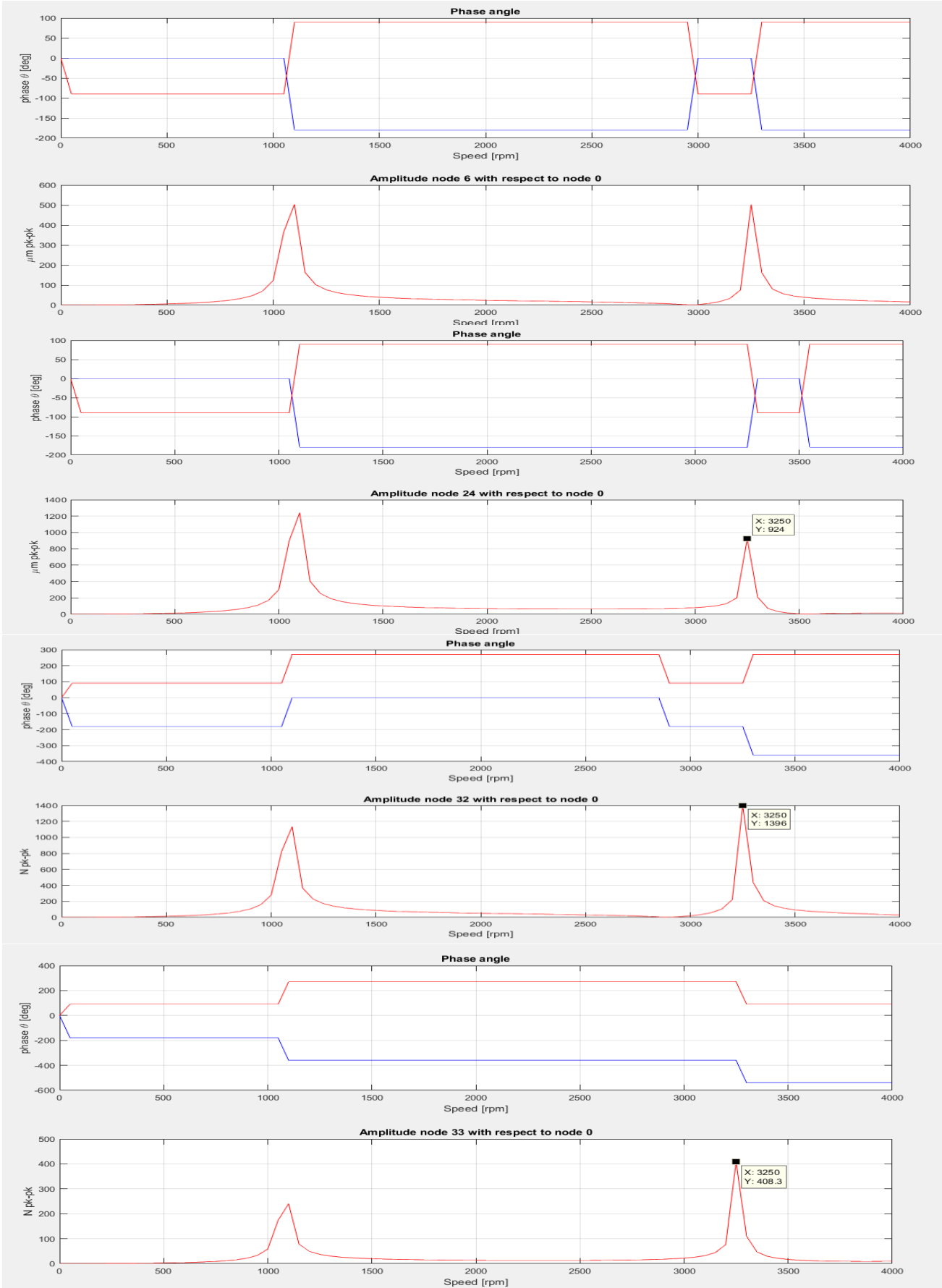


Fig.12: Mass in the center. Case 2: Unbalance in 2 masses same sense, 10 g, R 50 mm, 0° y 0°

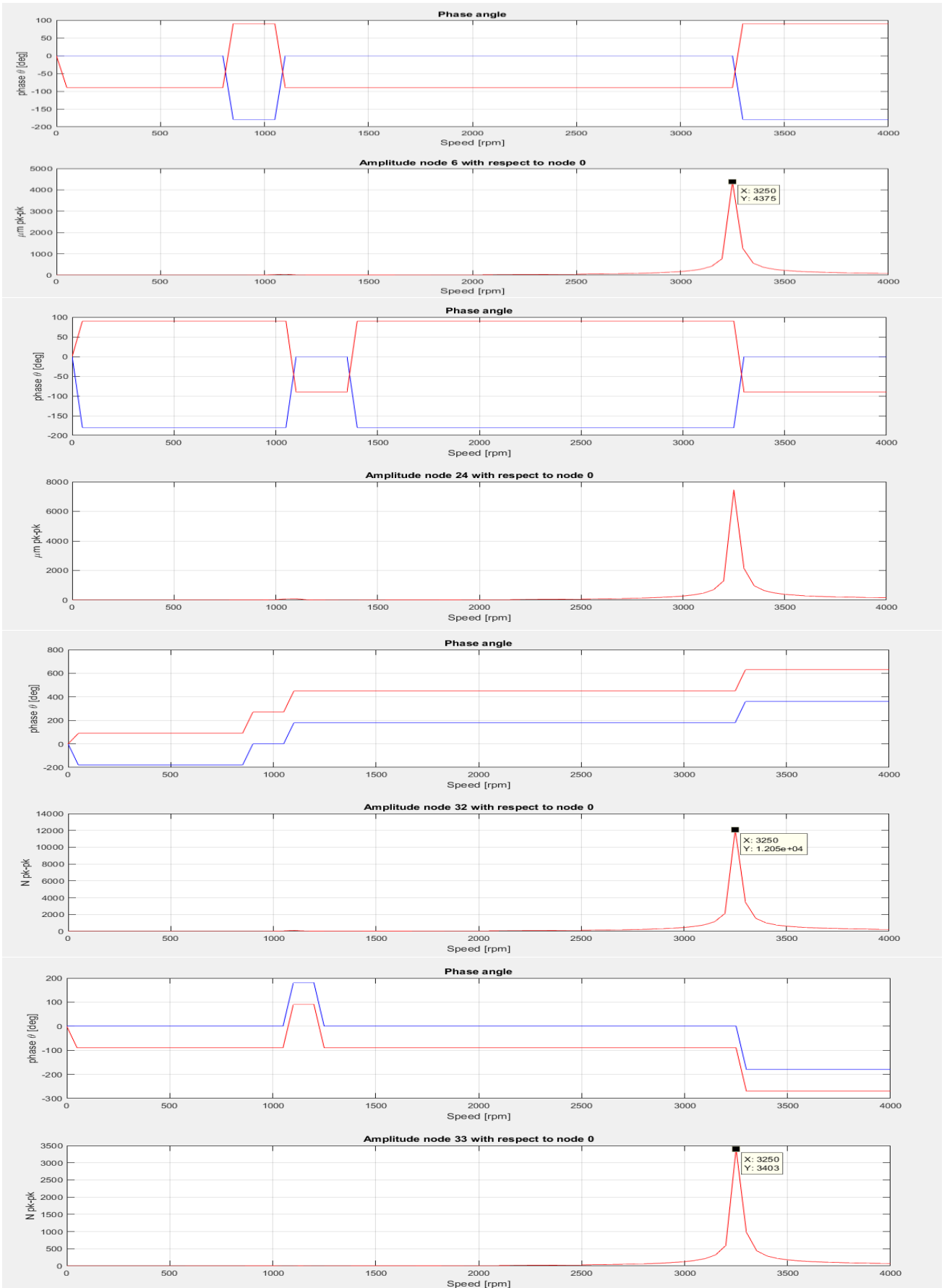


Fig.13: Mass in the center. Case 3: Unbalance in 2 masses, opposite direction, 10 g, R 50 mm, 0° y 180°

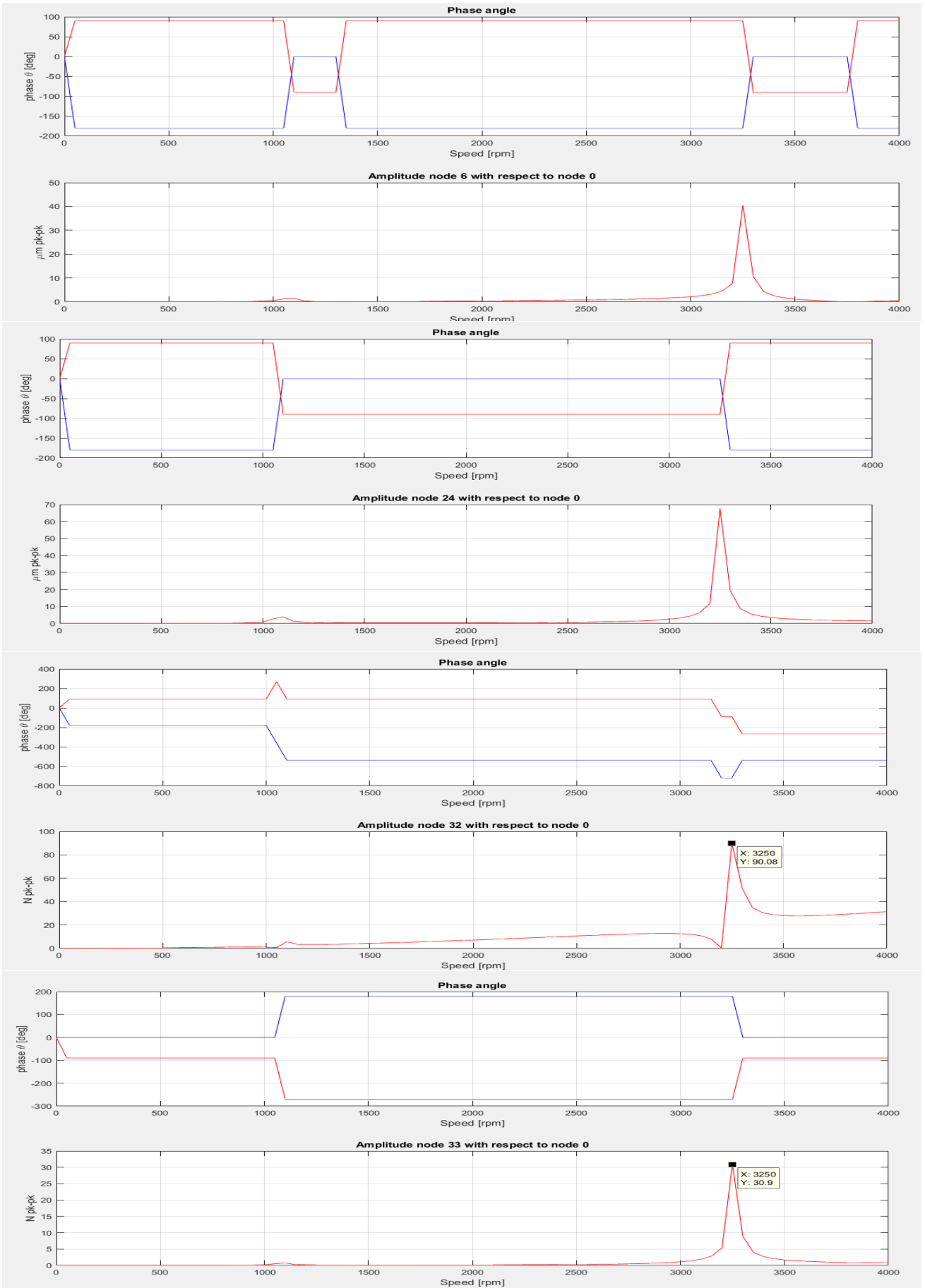


Fig.14: Mass in the center. Case 4: Pulley imbalance, 10 g, R 35 mm, 0°