



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE MEJORAS  
TÉCNICAS EN UN SISTEMA DE  
EVALUACIÓN ERGONÓMICA  
(ERGOSTATION) PARA LA LINEA DE  
MONTAJE DE MOTORES DE FORD  
VALENCIA (VEP).  
APLICACIÓN PARA LA HIGIENE POSTURAL  
DE LOS TRABAJADORES DE LA LINEA**

AUTOR: GONZALO MUINELO GARRIDO

TUTOR: JOSE LUÍS MARTÍNEZ DE JUAN

Selección NOMBRE DEL COTUTOR

Curso Académico: 2017-18

# Contenido

Resumen .....	1
<b>1 Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Entorno: .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivo.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Ford Motor Company .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Historia de Ford Motor Company .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3 Factoría Ford Almussafes .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4 Valencia Engine Plant (VEP) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Ergonomía.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Métodos de evaluación .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1 Lista de comprobación ergonómica .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 JSI - Job Strain Index .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.4 OWAS – Ovako Working Analysis System .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.5 RULA – Rapid Upper Limb Assesment.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.6 REBA – Rapid Entire Body Assessment .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.7 Ecuación NIOSH – Evaluación del levantamiento de carga.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.7 Sue Rodgers .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Ergonomía en Ford .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1 Ergonomía en VEP (método) .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Método ergonómico Ford Motor Company .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.3 Estado ergonómico de los puestos de trabajo de la VEP. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 ErgoStation .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1 Versión actual de la ErgoStation .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2 Funcionamiento de la tecnología Kinect usada en la ErgoStation.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.3 Funcionamiento de la tecnología inercial usada en la ErgoStation .....</b>	<b>32</b>
<b>3 Desarrollo del proyecto.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Análisis:.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.1 Estructura del informe de análisis.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2 Informes de resultados del análisis en línea simulada.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.3 Problemas / errores detectados tras prueba línea simulada.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.4 Informes de resultados del análisis en línea real. ....</b>	<b>52</b>

3.1.5	Problemas / errores detectados tras prueba línea real.....	63
3.2	Implantación para la fabricación del nuevo motor .....	64
3.2.1	Metodología para el análisis con la ErgoStation .....	64
3.2.2	Estructura del informe de análisis ErgoStation de un puesto manual. ....	67
3.2.3	Proceso y timing seguido para el análisis de cada operación.....	67
3.2.4	Análisis tras el nuevo motor e informe ejemplo de un puesto de trabajo.....	69
3.3	Soluciones propuestas.....	72
3.3.1	Propuestas sobre la ErgoStation:.....	72
3.3.2	Propuestas sobre la línea de montaje: .....	74
3.4	Simplificación del Hardware - ErgoStation 3.0 (virtualización). ....	80
3.4.1	Crear archivos de imagen de disco.....	80
3.4.2	Comunicación de máquinas virtuales .....	81
3.4.3	Limitaciones en el uso de la virtualización cámaras Kinect. ....	84
3.4.4	Solución adoptada.....	84
4	Conclusiones: .....	86
5	Presupuesto: .....	87
6	Pasos futuros: .....	89
7	Bibliografía:.....	91
8	Anexos.....	92
8.1	Documento de permiso de grabación ErgoStation. ....	92
8.2	Manual de uso de la ErgoStation .....	93

Ilustración 1. Gráfico de causas de las bajas laborales. (Obtenido de empleo.gob.es) .....	3
Ilustración 2. Gráfico de producción-ventas en los inicios.....	5
Ilustración 3. FPS de Ford Motor Company (Documentación Ford) .....	6
Ilustración 4. Plano descriptivo de Ford en Valencia (Documentación Ford) .....	8
Ilustración 5. Plano-Esquema de la línea de montaje VEP. (Documentación Ford) .....	10
Ilustración 6. Diagrama de flujo método rula (Ergonautas upv).....	13
Ilustración 7. Hoja ejemplo análisis sue rodgers + descripción (Documentación Ford) .....	17
Ilustración 8. Hoja ejemplo descripción operación (Documentación Ford).....	18
Ilustración 9. Worksheet Ford Motor Company (Documentación Ford) .....	19
Ilustración 10. Límites de altura y alcance. (Worksheet de ford). .....	20
Ilustración 11. Ergonomic Worksheet (Documentación Ford).....	21
Ilustración 12. Mapa ergonómico previo al nuevo motor .....	22
Ilustración 13. Mapa para la llegada del nuevo motor previo a la evaluación ergonómica. ....	23
Ilustración 14. Cronograma fase 1 proyecto ergostation .....	24
Ilustración 15. Cronograma fase 2 proyecto ergostation .....	24
Ilustración 16. Cronograma fase 3 proyecto ergostation .....	25
Ilustración 17. Cronograma fase 4 proyecto ergostation .....	25
Ilustración 18. Cronograma fase 5 proyecto ergostation .....	25
Ilustración 19. Cronograma fase 6 proyecto ergostation .....	25
Ilustración 20. Esquema hardware ErgoStation.....	26
Ilustración 21. Rack completo .....	26
Ilustración 22. PCs ergostation.....	27
Ilustración 23. Switch Ergostation.....	27
Ilustración 24. Panel trasero de conexionado.....	27
Ilustración 25. Cámara kinect v2 .....	28
Ilustración 26. Parte delantera y trasera del calibrador .....	28
Ilustración 27. Sensor inercial (Obtenido de technaid).....	28
Ilustración 28. Puerto USB antena bluetooth .....	29
Ilustración 29. PC Server .....	29
Ilustración 30. ErgoPC .....	29
Ilustración 31. Esquema funcionamiento de la kinect .....	30
Ilustración 32. Parte interna de la Kinect .....	31
Ilustración 33. Esquema del desarrollo del proyecto.....	33
Ilustración 34. Partes del cuerpo y movimientos estudiados. ....	34
Ilustración 35. Estructura del informe .....	35
Ilustración 36. Esquema posición inicial sensor .....	50
Ilustración 37. Esquema movimiento flexión pura sensor.....	51
Ilustración 38. Esquema movimiento extensión pura sensor .....	51
Ilustración 39. Esquema movimiento abducción pura sensor .....	51
Ilustración 40. Esquema movimiento aducción pura sensor .....	52
Ilustración 41. Excel tiempos tramos .....	65
Ilustración 42. Excel tiempos en posición .....	65
Ilustración 43. Excel porcentajes de tiempo por movimiento .....	65
Ilustración 44. Excel conjunto sue rodgers varios tramos .....	66
Ilustración 45. Excel resumen medianas Sue Rodgers por operario.....	66
Ilustración 46. Cronograma timing implantación ErgoStation.....	68
Ilustración 47. Mapa Ergonómico tras evaluaciones y acciones realizadas.....	79
Ilustración 48. Esquema explicativo virtualización .....	80

Ilustración 49. Crear imagen de PC .....	81
Ilustración 50. Asignar dirección IP .....	82
Ilustración 51. HMI funcionando en VMWare .....	82
Ilustración 52. Conexión virtual entre HMI-Server-ErgoPC2.....	83
Ilustración 53. Conexión Server-ErgoPC2.....	83
Ilustración 54. Traje y funcionamiento en VMWare. ....	84
Ilustración 55. Esquema de la versión 3.0 conseguida .....	85
Ilustración 56. Nube de puntos tras calibración. ....	90

Tabla 1. Tabla de Análisis REBA (Ergonautas upv) .....	14
Tabla 2. Tabla de Análisis Sue Rodgers (Documentación Ford) .....	15
Tabla 3. Tabla de valores Sue Rodgers (Documentación Ford).....	15
Tabla 4. Comparativa entre kinect v1 y kinect v2 (computerhoy.com) .....	32
Tabla 5. Tabla problema descalibración.....	63
Tabla 6. Tabla de problemas detectados en la línea de montaje .....	70
Tabla 7. Tabla de problemas detectados en el lazo 3000 (zona exclusiva nuevo motor).....	71
Tabla 8. Tabla resumen errores durante la captación de datos .....	73
Tabla 9. Tabla resumen errores durante la realización de informes .....	73
Tabla 10. Tabla de mejoras propuestas para mejorar el uso del software .....	74
Tabla 11. Tabla de operaciones y sus propuestas.....	76
Tabla 12. Tabla de operaciones y sus propuestas de mejora en el lazo 3000. ....	78

## Resumen

El presente trabajo fin de máster ha sido desarrollado durante las prácticas en empresa realizadas en la factoría de motores de Valencia, comúnmente conocida como Valencia Engine Plant (VEP). Estas prácticas han sido posible gracias al acuerdo entre el Servicio Integrado de Empleo (SIE) y la compañía Ford Valencia.

El epicentro sobre el que gira el proyecto es la ergonomía; la ergonomía podría definirse como la ciencia del trabajo para el diseño y adecuación de las condiciones y lugares de trabajo a las características de los usuarios para desarrollar su trabajo de la manera más saludable.

En la línea de montaje de la planta de motores de Valencia, los puestos son clasificados ergonómicamente como verdes, si no presentan ningún riesgo ergonómico; amarillo, si pudiesen o no presentar algún riesgo ergonómico y requieren una revisión más exhaustiva; y rojo si seguro que presentan riesgo ergonómico.

Para abordar el tema de la ergonomía, se lleva desarrollando desde 2015 un sistema autónomo de evaluación ergonómica utilizando la tecnología de las cámaras de vuelo (cámaras Kinect), e incorporándole recientemente la tecnología inercial. Este sistema de evaluación ergonómica es llamado ErgoStation.

La ErgoStation será el elemento que dará forma a este trabajo fin de máster con el fin de realizar pruebas, analizar, detectar errores y proponer soluciones y mejoras tanto sobre el sistema de evaluación, como sobre la línea de montaje.

La parte referente al sistema de evaluación consistirá en realizar pruebas sobre el sistema para conocer las limitaciones, detectar errores y proponer mejoras sobre el mismo a través de diferentes informes realizados. Se desarrollará más a fondo la propuesta de mejora de simplificación del hardware virtualizando el sistema.

El otro punto importante será utilizar el sistema ErgoStation para realizar evaluaciones Ergonómicas de los puestos de trabajos manuales que han sufrido cambios debido a la próxima llegada del nuevo motor a la producción. El fin de estas evaluaciones será complementar el estudio ergonómico estándar de Ford, proponiendo mejoras en los puestos de trabajo si fuese necesario, para que todos los puestos sean ergonómicamente verdes antes del comienzo de la producción del nuevo motor.

# 1 Introducción

## 1.1 Entorno:

El trabajo se desarrolla en las instalaciones de Ford en Almussafes. La fábrica se divide en varias plantas, y en concreto se trabajará en la planta de motores, que tiene un funcionamiento independiente al resto de plantas.

El desarrollo de este trabajo coincide con la “inminente” llegada del nuevo motor, sufriendo la línea de montaje motor cambios en las estaciones de trabajo en cuanto a proceso, y consecuentemente la logística de esta, así como la incorporación de nuevas estaciones de trabajo manual.

Se trabajará sobre el sistema ErgoStation realizando pruebas con los dos elementos de captación de imágenes y datos como son las cámaras Kinect (cámaras de tiempo de vuelo) y los sensores inerciales. Una vez conocidas las limitaciones del sistema se instalará la ErgoStation en los diferentes puestos de trabajo manuales, poniendo más de 2 cámaras hasta un límite de 4, dependiendo del espacio necesario, o se utilizarán los sensores inerciales, para posteriormente analizar los datos según los criterios de ergonomía de Ford y realizar diferentes informes.

## 1.2 Justificación

Ford, como empresa, da una relevancia muy importante, hasta el punto de considerarlo unos de sus pilares de funcionamiento, a las condiciones de trabajo y salud de sus trabajadores.

La importancia que da la empresa a este aspecto y a que las lesiones musculoesqueléticas (que son aquellas que afectan a músculos, tendones, ligamentos o discos intervertebrales) son la principal causa de baja laboral, se lleva desarrollando en Ford desde 2015 el proyecto ErgoStation para conseguir una herramienta de evaluación ergonómica autónoma y con criterios objetivos, con el fin de que ayude a detectar problemas y/o riesgos en los puestos de trabajo

El absentismo laboral es una de las principales causas de costes directos de las empresas y como dato relevante se destaca que durante el año 2017 el absentismo laboral para las empresas tuvo un coste directo de 6.273 millones de euros, a razón de 4,5 millones de procesos de incapacidad laboral por contingencias comunes.

El siguiente gráfico refleja las principales causas de absentismo laboral durante 2017.

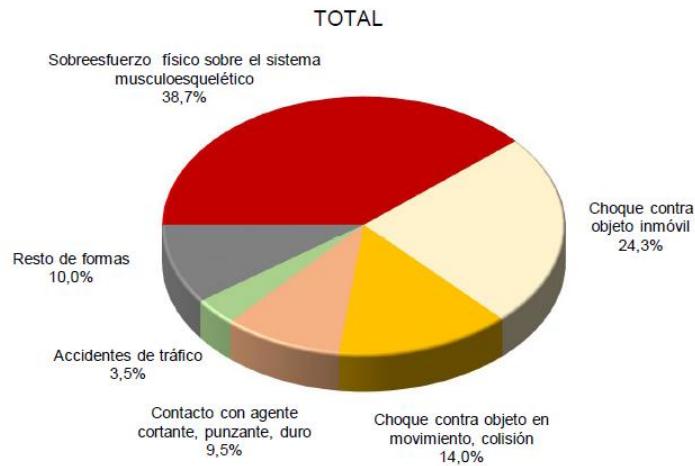


ILUSTRACIÓN 1. GRÁFICO DE CAUSAS DE LAS BAJAS LABORALES. (OBTENIDO DE EMPLEO.GOB.ES)

Como se puede observar en el gráfico, el 38,7% de las bajas laborales son debido al sobreesfuerzo físico sobre el sistema musculoesquelético.

Según estudios de la fundación para la prevención de riesgos laborales, las principales causas de las lesiones musculoesqueléticas son:

- a. Posturas estáticas.
- b. Posturas forzadas.
- c. Movimientos repetitivos.
- d. Aplicación de fuerzas intensas.

Debido a que, en los puestos de trabajo manuales de la línea de montaje, estos 4 factores se suelen encontrar con frecuencia cobra vital importancia estudiar minuciosamente cada estación de trabajo con el fin de evitar en la medida de lo posible este tipo de lesiones.

Estas razones justifican el proyecto desde un punto de vista económico ya que evitar este tipo de bajas laborales, supone un impacto económico hacia la empresa, además de que tener un sistema autónomo de evaluación ergonómica supone un ahorro de tiempo de dedicación de la persona encargada de la ergonomía (ergónomo).

Por último, se justifica desde un punto de vista ético, debido a que mejorar las condiciones del trabajador en cuanto a salud y seguridad es prioritario en Ford Motor Company.



### **1.3 Objetivo**

El objetivo principal del proyecto es implementar mejoras en dos focos de actuación relativos a la ergonomía:

1. Mejorar el propio sistema de evaluación ergonómica (ErgoStation)
  - a. Analizar el sistema (ErgoStation), pruebas fuera de línea y pruebas en la línea.
  - b. Detectar errores en la adquisición de datos
  - c. Modelar y realizar informes con la finalidad de proponer mejoras
  - d. Implementar la mejora de simplificación del hardware del sistema (mejora más desarrollada)
  
2. Mejorar la línea de montaje de la planta de motores de Valencia.
  - a. Implementar el sistema en la línea para la llegada del nuevo motor
  - b. Modelar y realizar informes con la finalidad de proponer mejoras sobre las estaciones analizadas

## 2 Antecedentes.

### 2.1 Ford Motor Company

#### 2.1.1 Historia de Ford Motor Company

Ford Motor Company es una multinacional estadounidense en sector automovilístico, produciendo y vendiendo tanto automóviles como componentes.

Los inicios de la empresa se remontan a 1896 cuando Henry Ford diseñó y fabricó un vehículo autopropulsado con un motor de cuatro caballos. Previamente hubo dos intentos de constituir una empresa en el sector automovilístico que no tuvieron éxito:

- "Detroit Automobile Company" en 1899
- Henry Ford Company en 1901.

Tras los primeros años, comenzó la producción en serie, marcando diferencia en el mercado al desmarcarse de la forma de trabajo habitual en el sector que consistía en situar el chasis en un lugar fijo e ir incorporando el resto de los componentes, sin empezar el siguiente coche hasta que no se acababa el anterior.

Otro de los puntos clave fue la inversión realizada al conseguir a los mejores mecánicos tuvo sus consecuencias en la mejora del proceso y la reducción de costes.

Año a año la producción y venta de vehículos de la compañía fue creciendo, a la vez que con las mejoras del proceso de producción se reducía el coste unitario del vehículo (de 600 dólares el primer año hasta 360 en 1916).

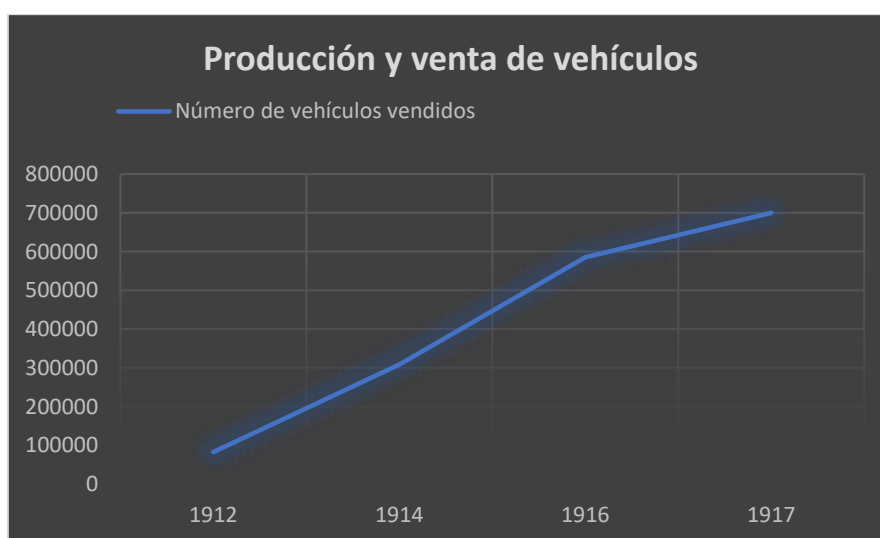


ILUSTRACIÓN 2. GRÁFICO DE PRODUCCIÓN-VENTAS EN LOS INICIOS

Los valores implantados desde los inicios por Henry Ford siguen vigentes, buscando siempre el aumento del beneficio y de la satisfacción de los clientes.

### 2.1.2 Ford Production System

A nivel mundial se sigue el mismo estándar de producción en todas las factorías, cuya definición es la siguiente:

*“El Sistema de Producción de Ford (FPS) es un sistema de producción ajustado, flexible y disciplinado, definido por un conjunto de principios y procesos que emplean grupos de gente capaz y potenciada aprendiendo y trabajando juntos con seguridad en la producción y entrega de productos que consistentemente exceden las expectativas del cliente en calidad, entrega y costo.”*



ILUSTRACIÓN 3. FPS DE FORD MOTOR COMPANY (DOCUMENTACIÓN FORD)

Como muchas empresas en el sector automovilístico, han buscado establecer una mentalidad e idea de trabajo llamada Lean Manufacturing. Esta filosofía está basada ofrecer el máximo valor a los clientes ajustando al máximo los recursos, influyendo en todo aquello que no afecta al valor del producto, pero si a su coste (tiempos ociosos, defectos, inventario, sobreproducción, transporte, procesos y movimientos innecesarios).

Como resumen global del Lean Manufacturing podríamos concluir que es obtener las cosas en el lugar, tiempo y cantidad adecuada con el mínimo despilfarro, pero siempre preparados para el cambio siendo flexibles.

En este sentido, Ford utiliza distintos métodos para conseguir estos objetivos:

- QPS: Sistemas de proceso de calidad, que son una ayuda visual para el operario, remarcando cuales son los pasos a seguir en cada una de las estaciones del proceso montaje motor, haciendo hincapié en las tareas que afectan directa y fuertemente a la calidad. Las QPS son revisadas y

actualizadas cada poco tiempo debido a la variabilidad a la que está sometida la línea de montaje con continuos cambios para mejorar el proceso de montaje.

- PCBs. Son pantallas situadas en cada uno de los equipos de trabajo, de tal forma que de manera visual sea posible informarse del estado de la producción del propio equipo y del resto de los equipos implicados en el proceso motor.
- Poka-Yokes: es un término japonés que hace referencia al concepto de “evitar equivocaciones”, en el caso de la producción, errores humanos. Cualquier método o sistema implantado con esta finalidad recibe la denominación de Poka-Yoke. Podríamos hablar de 3 tipos de Poka-Yokes:
  - De prevención (evitar el error antes de que ocurra)
  - De detección (detectar el error producido, y evitar más defectos consecuentes del mismo)
  - De corrección (detectar y corregir un defecto ya existente)

### **2.1.3 Factoría Ford Almussafes**

En 1973 Ford tomó la decisión de fabricar un pequeño vehículo en España, disputándose varias provincias el asentamiento, siendo la decisión final establecer la fábrica en Almussafes adquiriéndose los terrenos de 636 huertos y empezando la construcción de la fábrica.

Tras la finalización de la construcción en septiembre de 1975, se fabricaron hasta finalizar el año 17.508 unidades del Ford Fiesta.

Situada en el término municipal de Almussafes, sobre el kilómetro 40 de la N-320, el emplazamiento es el ideal debido a que Almussafes tiene unión a Valencia mediante ferrocarril y mediante carreteras, con un fácil acceso al aeropuerto y al puerto marítimo.

La factoría está dividida según el plano siguiente:

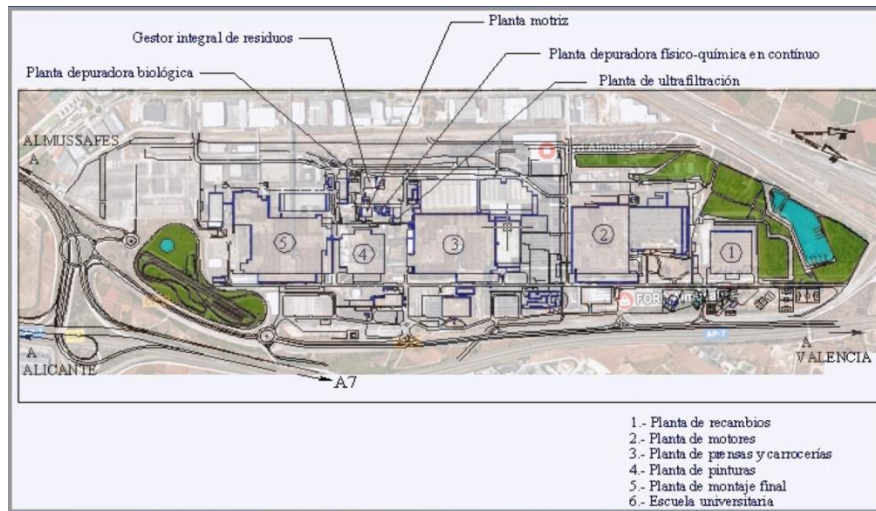
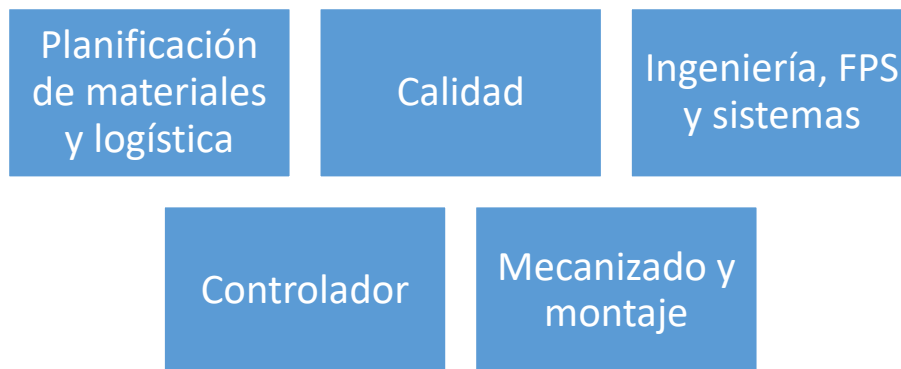


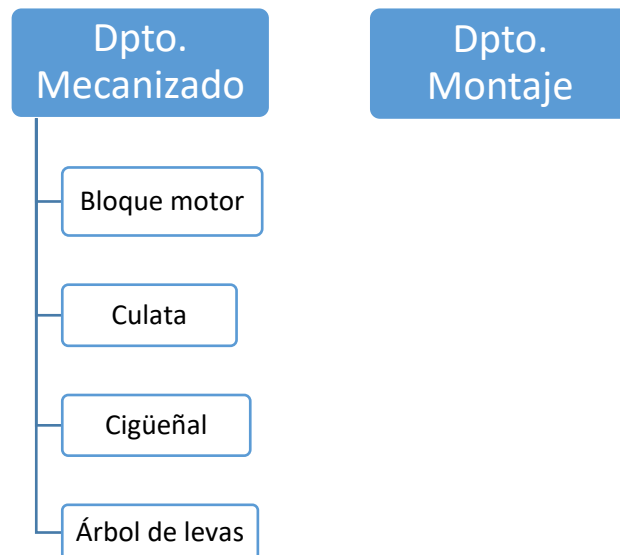
ILUSTRACIÓN 4. PLANO DESCRIPTIVO DE FORD EN VALENCIA (DOCUMENTACIÓN FORD)

### 2.1.4 Valencia Engine Plant (VEP)

Situada en el emplazamiento que se puede observar en el anterior mapa, cuenta con 48.427 metros cuadrados, pero su funcionamiento es independiente del resto de plantas. La mayor parte de los motores son exportados a otras plantas, así como exportando piezas mecanizadas que serán montadas en otras fábricas.

La organización está regida por departamentos, siendo el gerente el responsable del funcionamiento, organización y coordinación entre los mismos.





Si hablamos del departamento de montaje (que es sobre la línea que se realizaran los distintos trabajos de este TFM), el funcionamiento consiste en unas paletas (movidas por rodillos) sobre las que se sitúa el bloque motor que va desplazándose a lo largo de los 15 equipos, teniendo cada equipo diferentes tareas para llegar hasta el montaje final del motor.

Cada equipo de trabajo está formado por un jefe de equipo, servicio de mantenimiento, operarios y relevos. Los jefes de equipos son los encargados de la producción y de parametrizar en su turno de trabajo aspectos de:

- Seguridad: nº de accidentes
- Calidad: nº de defectos
- Entrega: nº de motores
- Coste: nº rechazos por defecto
- Moral: absentismo laboral
- Medio ambiente: nº incidencias

La línea de montaje podríamos dividirla en:

- Línea principal
- Submontaje pistón-biela
- Submonaje de culata
- Hot-Test

En el siguiente esquema podemos encontrar la distribución de los equipos de la línea de montaje:

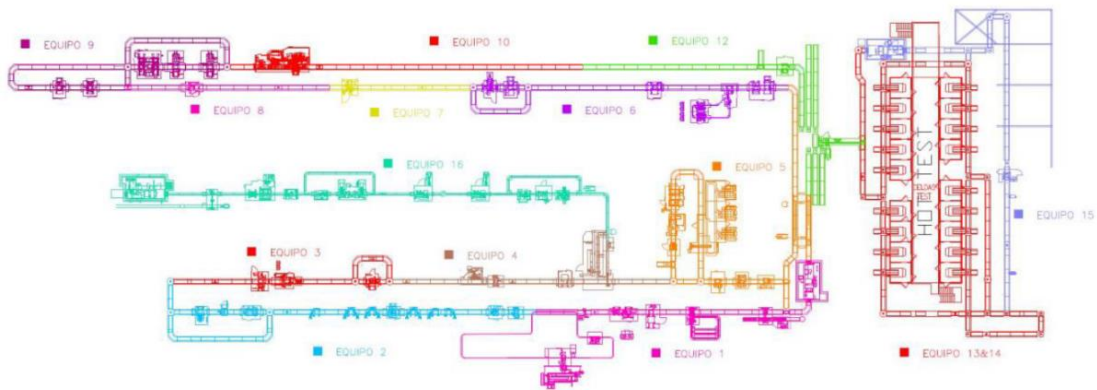


ILUSTRACIÓN 5. PLANO-ESQUEMA DE LA LÍNEA DE MONTAJE VEP. (DOCUMENTACIÓN FORD)

## 2.2 Ergonomía

El término ergonomía proviene del griego *ἔργον* (*ergon*, 'trabajo') y *νόμος* (*nomos*, 'ley'), cuya traducción más adecuada sería ciencia del trabajo, y esta engloba el diseño y adecuación de las condiciones y lugares de trabajo, de tal manera que se adapten a las diferentes características de los usuarios, para que estos puedan trabajar interactuando con las máquinas y el puesto de trabajo de la manera más saludable.

La ergonomía basa sus conocimientos sobre todo en la experiencia y en toda la información de otras ciencias que puedan aplicarse al conjunto trabajador-trabajo buscando la eficiencia seguridad y bienestar. Es habitual usar desde conocimientos de fisiología hasta conceptos de ingeniería industrial pasando por la biomecánica.

Entre los beneficios (y objetivos) de la ergonomía se encuentran:

- Disminución de riesgo de lesiones.
- Disminución de ausentismo laboral.
- Aumento del rendimiento.

En el caso de este trabajo, se centrará en el primer de los beneficios nombrados anteriormente, en concreto en los trastornos musculo esqueléticos (TME) que son enfermedades de origen laboral que en la mayoría de los casos afectan a cuello, espalda y hombros.

Los motivos de este tipo de lesiones pueden deberse a varias causas, pero aplicándolo a los puestos de trabajo que se van a observar se destacan las siguientes causas:

- Movimientos repetitivos
- Manipulación de cargas
- Trabajo a un ritmo elevado

La prevención de estos se aborda a través de una evaluación de riesgos (evaluación ergonómica) y también incluyendo al trabajador buscando el "feedback" del mismo.

Una vez se han identificado los riesgos, se pueden identificar distintos tipos de mejoras potenciales para disminuir estos riesgos:

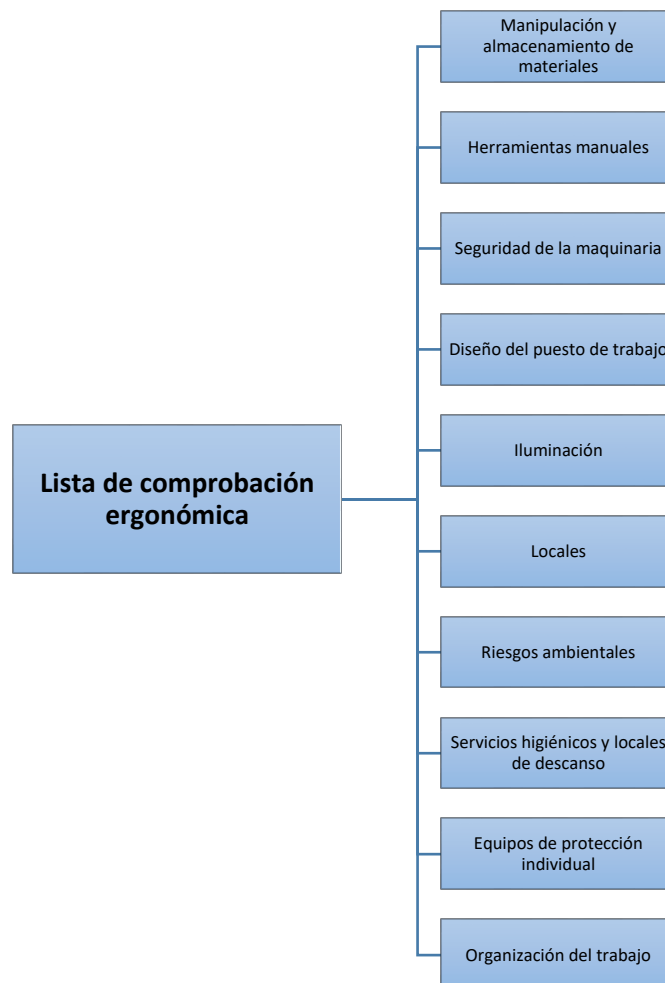
- Diseño del entorno de trabajo
- Concienciación del riesgo a través de la formación
- Modificación de las tareas
- Planificación del trabajo para evitar trabajos repetitivos

### 2.3 Métodos de evaluación

Si definimos la ergonomía como ciencia del trabajo, como en toda ciencia existen varios métodos para llegar a un fin común, en este caso la evaluación ergonómica. Los siguientes apartados tratan diferentes métodos de evaluación ergonómica, siendo el último (Sue Rodgers) el más utilizado en la VEP (Valencia Engine Plant):

#### 2.3.1 Lista de comprobación ergonómica

Cuyo fin es la definición y aplicación de diferentes puntos para ofrecer de manera práctica solución a los distintos problemas ergonómicos mejorando las condiciones de trabajo de manera sencilla. La lista de comprobación ergonómica consta de 128 puntos englobados en 10 familias:





### 2.3.2 JSI - Job Strain Index

Método por el cual, mediante la definición de diferentes parámetros y una calificación numérica de los mismos, se define el riesgo ergonómico debido sobre todo a los movimientos repetitivos de las extremidades superiores. Utiliza 6 variables que posteriormente son agrupadas en una única ecuación.

Los parámetros definidos en este método hacen referencia al esfuerzo y son:

- Intensidad
- Duración
- Nº realizados en 1 minuto
- Desviación de la muñeca respecto de la posición neutra
- Velocidad de la tarea
- Duración de la tarea por jornada de trabajo.

Como se puede observar, 3 de estos parámetros son cuantitativos, mientras que los otros 3 son subjetivos realizados por el evaluador basándose en diferentes escalas (puede obtenerse más información de estas escalas y el método en el enlace reflejado en la bibliografía)

Finalmente, mediante la siguiente ecuación obtendremos un valor JSI:

$$JSI = IE \times DE \times EM \times HWP \times SW \times DD$$

Queda establecido que para valores inferiores o iguales a 3 de JSI la tarea es segura, mientras que para iguales o superiores a 7, la tarea es probablemente peligrosa.

### 2.3.4 OWAS – Ovako Working Analysis System

Método de análisis ergonómico que valora la carga física en función de las posturas; este método se realiza de forma visual de tal modo que se consideran 252 posturas posibles en combinación de espalda, brazos y piernas, teniendo en cuenta también la carga soportada.

A cada postura le corresponde un código, a la vez que a cada carga también le corresponde un código. A partir de estos códigos se calcula el riesgo por código de postura, y a su vez en función del número de veces que un grupo articular se encuentra en esa postura respecto al resto de posturas del mismo grupo, corresponde a una frecuencia relativa que indicará una categoría de riesgo (del 1 al 4).

### 2.3.5 RULA – Rapid Upper Limb Assessment

Método que evalúa el riesgo postural en las extremidades superiores, dividiendo el cuerpo en grupo A y grupo B.

El grupo A incluye brazos, antebrazos y muñecas, mientras que el grupo B incluye piernas, tronco y cuello. Cada articulación está tabulada en función de los ángulos que forma, asignándole una puntuación.

Una vez conocida la puntuación de cada grupo muscular, a través de unas tablas se obtiene la severidad de cada grupo (A y B).

Como este método solo ha considerado ángulos, cada grupo (A y B) puede ver aumentada su carga en función de unos baremos de puntuación extra, según el tipo de actividad en torno a su repetitividad o estaticidad, y por otra parte en función de la carga con la que trabaja, obteniéndose puntuaciones C y D correspondientes a los grupos A y B respectivamente.

Esa puntuación final obtenida se compara con unas tablas de actuación que comprenden todos los valores obtenibles de este análisis.

Este esquema obtenido de la página de ergonautas de la UPV, muestra de manera muy explicativa el proceso a seguir:



ILUSTRACIÓN 6. DIAGRAMA DE FLUJO MÉTODO RULA (ERGONAUTAS UPV)

### 2.3.6 REBA – Rapid Entire Body Assessment

El método REBA se fundamenta en evaluar posturas individuales eligiendo aquellas que tienen más duración o repetitividad o porque son una desviación significativa de la postura neutral.

El método tiene similitudes con el RULA, dividiendo el cuerpo en dos grupos:

- Grupo A (Tronco, cuello y piernas)
- Grupo B (Brazo, antebrazo y muñecas)

Asignándole una puntuación a cada elemento de cada grupo, para después, a través de una tabla, obtener un valor de severidad del grupo en su conjunto.

A continuación, se evalúan las cargas y fuerzas, que aumentarán la puntuación A, y los agarres, que aumentarán la puntuación B; una vez obtenidas estas puntuaciones, utilizando una tabla se obtendrá la puntuación de C, que podrá verse aumentada por el tipo de actividad muscular que se realiza, para finalmente concluir que el nivel de riesgo puede ser:

Puntuación	Nivel	Riesgo	Actuación
1	0	Inapreciable	No
2 o 3	1	Bajo	Puede ser
4 a 7	2	Medio	Si
8 a 10	3	Alto	De forma prematura

11 a 15	4	Muy alto	De forma inmediata
---------	---	----------	--------------------

TABLA 1. TABLA DE ANÁLISIS REBA (ERGONAUTAS UPV)

### 2.3.7 Ecuación NIOSH – Evaluación del levantamiento de carga

A través de una ecuación se define el peso máximo con el que se puede trabajar en función de las condiciones de trabajo. Esta ecuación es la siguiente:

$$RWL = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM$$

Siendo:

**LC:** Índice de levantamiento de carga.

**HM:** Factor de Distancia Horizontal.

**VM:** Factor de Distancia Vertical.

**DM:** Factor de Desplazamiento Vertical.

**AM:** Factor de Asimetría.

**FM:** Factor de Frecuencia.

**CM:** Factor de Agarre.

Quedando determinado que para un valor igual o menor a 1 no hay problemas de carga; para un valor entre 1 y 3 puede ocasionar problemas debiendo revisar el puesto de trabajo; y para un valor mayor de 3, la tarea debe revisarse y modificarse.

### 2.3.7 Sue Rodgers

Pone a estudio las diferentes partes del cuerpo (cuello, hombros, espalda, brazos / codos, muñecas / manos / dedos, piernas / rodillas y tobillos / pies / dedos según los parámetros de nivel de esfuerzo, duración y nº de esfuerzos por minuto, valorando estos parámetros en valores de 1 a 3.

El nivel de esfuerzo es valorado por un ergónomo que califica el nivel de esfuerzo de la tarea basándose en una rúbrica y en su propia experiencia.

La duración del esfuerzo es, de los 3 parámetros, el más objetivo, ya que los valores adoptados quedarán determinados por el tiempo en ese esfuerzo.

El número de esfuerzos será las veces que se repite un mismo esfuerzo.

Los distintos valores se agrupan en la siguiente tabla:

Parte del cuerpo	Nivel de Esfuerzo	Duración del Esfuerzo	Esfuerzos / Minuto	Prioridad
	1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Duro	1 = < 6 seg. 2 = 6-20seg. 3 = >20 seg	1 = < 1 / min. 2 = 1 a 5 / min. 3 = > 5 / min.	ver cuadro abajo
Cuello				
Hombros				
Espalda				
Brazos/Codos				
Muñecas/Manos/ Dedos				
Piernas/ Rodillas				
Tobillos/ Pies/ Dedos				

TABLA 2. TABLA DE ANÁLISIS SUE RODGERS (DOCUMENTACIÓN FORD)

Siendo la columna de prioridad el valor final en el que debemos fijarnos, el cual sigue los siguientes criterios con la combinación de los 3 parámetros.

<b>Verde</b>	<b>1</b> (111, 112, 121), <b>2</b> (122, 131, 211, 212,113), <b>3</b> (221, 311)
<b>Amarillo</b>	<b>4</b> (123, 132), <b>5</b> (213, 222, 231), <b>6</b> (232, 312)
<b>Rojo</b>	<b>7</b> (223, 313), <b>8</b> (321, 322), <b>9</b> 323, 331), <b>10</b> (332)

TABLA 3. TABLA DE VALORES SUE RODGERS (DOCUMENTACIÓN FORD)

Si no existe riesgo ergonómico la prioridad es verde (baja).

Una prioridad amarilla (moderada) nos indica que las condiciones del puesto de trabajo zona aceptables pero que se debe revisar periódicamente con el objetivo de que las condiciones no degeneren.

Una prioridad roja (alta) nos indica que existe un potencial riesgo para la salud del operario, y que se debe de tomar las medidas necesarias para reducir esa severidad.

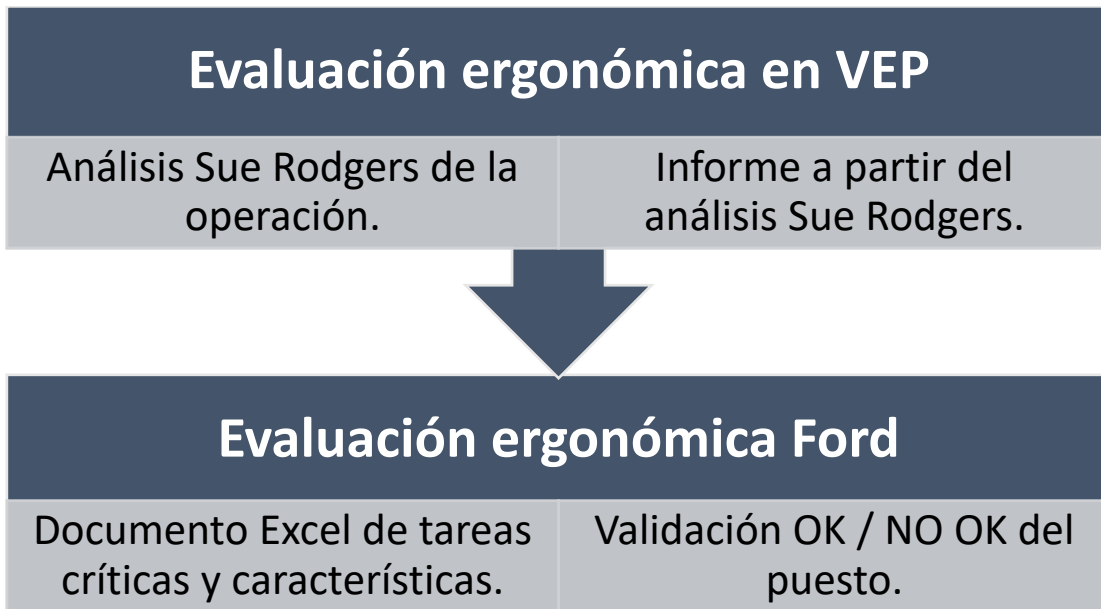
Si la secuencia de números no está contemplada, es una prioridad (verde-baja).

## 2.4 Ergonomía en Ford

La seguridad y la salud de los trabajadores es declarado, pública e internamente por Ford, como uno de los pilares de funcionamiento de la empresa, y con lo cual, aspecto de vital importancia en todos los ámbitos de la empresa, intentando concienciar a todos los estamentos de la

importancia de esto, y realizando e implantando las medidas adecuadas para proporcionar un trabajo seguro, sin lesiones, altamente productivo y con la idea de la mejora continua de la calidad.

El siguiente esquema trata de reflejar el flujo de trabajo que se sigue para la evaluación ergonómica, y los reportes que se van generando, empezando desde lo que se realiza en la VEP, hasta llegar al estándar Ford de evaluación ergonómica.



#### **2.4.1 Ergonomía en VEP (método)**

La VEP utiliza, de manera estándar, el método Sue Rodgers para evaluar los puestos de trabajo de la línea de montaje.

La persona encargada de esta evaluación es un especialista en ergonomía (ergónomo), que observa y valora, según el método citado, los puestos de trabajo. Esta valoración se documenta en un Word, en el que aparte de la valoración Sue Rodgers del puesto se reflejan sugerencias y/u observaciones que el ergónomo considera de interés. Las siguientes ilustraciones muestran un ejemplo:

Página 1  
**ANÁLISIS SUE RODGERS**

Preparado por: ..... Fecha: 20/07/17

Planta: VEP Departamento: MONTAJE

Descripción de la Operación: \_\_\_\_\_

Operación N°: 1080 Tiempo de ciclo: \_\_\_\_\_

Parte del cuerpo	Nivel de Esfuerzo	Duración del Esfuerzo	Esfuerzos / Minuto	Prioridad
	1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Duro	1 = < 6 seg. 2 = 6-20 seg. 3 = >20 seg.	1 = < 1 / min. 2 = 1 a 5 / min. 3 = > 5 / min.	ver cuadro abajo
Cuello	1	1	2	1
Hombros	1	1	2	1
Espaldas	2	1	2	2
Brazos / Codos	2	1	2	2
Muñecas/ Manos / Dedos	2	1	2	2
Piernas / Rodillas	1	1	2	1
Tobillos / Pies / Dedos	1	1	2	1

Prioridad de cambio

<b>Verde</b>	<b>1</b> (111, 112, 121), <b>2</b> (122, 131, 211, 212, 113), <b>3</b> (221, 311)
<b>Amarillo</b>	<b>4</b> (123, 132), <b>5</b> (213, 222, 231), <b>6</b> (232, 312)
<b>Rojo</b>	<b>7</b> (223, 313), <b>8</b> (321, 322), <b>9</b> (323, 331), <b>10</b> (332)

Descripción operación/es críticas

- 1- INTRODUCIR TAPA (ORIFICIOS) POR VÁLVULAS VVT
- (MV) sólo sobresalen los conectores eléctricos de las válvulas por lo que no hay que aplicar nada de fuerza
  - (IEM) Se tiene que introducir parte de la válvula, cuerpo metálico, por el orificio de la tapa, lo que requiere posicionar y apretar con herramienta
- 2- APUNTAR (11 o 13) ESPÁRRAGOS CON HTA

**1. – ABASTECIMIENTO:**

Material suministrado en carros secuenciados



Elemento	Altura (cm)	Alcance (cm)
Carro secuenciado tapa a. de levas (4h)	68-135	
hta	147	45
Cajas/Retornos		
Cajas/Retornos ACCIONA		

**2. – DESCRIPCIÓN:**

- 1 – Revisar puntos **loctite**
- 2 – Leer pantalla y girarse a coger tapa a. de levas + volver
- 3 – Montar tapa en motor
- 4 – Comprobar presencia de junta
- 5 – Coger **hta** y apuntar (11 – Actuales o 13 – Upp2) espárragos
- 6 – Pisar pedal

**3. – ESFUERZOS:**

Elevada repetitividad de la tarea de apuntar espárragos (x11 o x13), con alcance variable entre 14 y 56 **cm** pero sin fuerza

Para introducir tapa IEM por válvulas VVT hay que posicionar la tapa sobre el motor y apretar con la herramienta neumática, comenzando de la zona más próxima a la más alejada del trabajador, No golpear la tapa para ponerla. Alcance de 55 cm.

- "Montar tapa" → Altura = 118cm
- "Apuntar tornillos tapa" → Altura = 132cm, Alcance = 14-56cm
- "Peso tapa" → 1.800Kg

**4. – PROTECCIÓN:**

Guantes

**OBSERVACIONES:**

Se trabaja a la altura sobre plataforma de 25cm + alfombra anti-fatiga (Hay espacio suficiente para permitir dar paso y cambiar de dirección cuando se cogen las tapas de los carros y, además, las otras tareas son muy estáticas)

Posturalmente es verde, pero tiene alta repetitividad en el apuntado

ILUSTRACIÓN 8. HOJA EJEMPLO DESCRIPCIÓN OPERACIÓN (DOCUMENTACIÓN FORD)

De manera excepcional y si el ergónomo lo cree oportuno, realizará un análisis NIOSH si el puesto monta piezas de más de 3 kg.

Una vez realizado este análisis se tiene una idea ergonómica clara del estado de la operación y de las tareas que se realizan. Con esta idea y este análisis, se pasa a completar el estándar Ford de evaluación ergonómica descrito en el siguiente apartado.

### 2.4.2 Método ergonómico Ford Motor Company

La empresa Ford ha intentado desarrollar un método de evaluación ergonómica, con una hoja Excel para cada operación en la que se reflejan las tareas críticas. De estas tareas críticas se reflejan los datos relevantes de altura, alcance, peso, fuerza, frecuencia, tiempo de la tarea etc., y una vez reflejado todos los datos se refleja si se ha validado la tarea, y con qué método se ha realizado (en caso de la VEP, Sue Rodgers en la mayoría de los casos).

La siguiente imagen muestra un ejemplo de la hoja Excel:

<b>MANUAL/MACHINE WORKSTATION ERGONOMICS WORKSHEET</b>															
Originator:		Plant: VEP		Program:		Stage of Review:		Date							
Dept Name/No:		Work Station No: 1120		Operation No: 1120		<input checked="" type="checkbox"/> Virtual Design		24/07/2017							
Workstation Title or Description:				Lift Assist? YES <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> QPS Lab		24/07/2017							
Tools Required: None				Kit Used? YES <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Vendor Runoff									
Misc:				Platform Required? YES <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Plant Runoff/Launch									
Part Notes:				Platform Height: 25cm		<input type="checkbox"/> Rebalance									
				Stand/Sit/Both: Stand											
Initial Assessment															
Not all Ergo Assessments are required for all tasks. Visit the PTO ME Ergo Website at <a href="http://www.mpe.ford.com/proj/ergo/index.htm">http://www.mpe.ford.com/proj/ergo/index.htm</a> for Tool Selection Guide															
Workstation Type: Auto <input type="checkbox"/> Manual <input checked="" type="checkbox"/> Tool Change <input type="checkbox"/> Cycle time (secs) 26.9	Data Collection				Risk Factors			Ergo Assessment Tool <i>(attach analysis)</i>		Task Approved					
	Frequency Per Cycle Time Per Occurrence (sec)	Hand Posture		Dimensions	Part	Forceful Exertion Y / N	Stressful Posture Y / N	Contact Stress Y / N	(E0) - Elv-Cross Runoff Out/Waist (E2) - 2DBiomechanic (ML) - Metabolic Load (LH) - Liberty Mutual (SH) - Shoulder H. Ext. (HEP) - HOSCH (SR) - Redgear (SI) - Strain Index (HP) - Handpak (RA) - Rule (O) - Other	Y	N	Results / Comments			
<b>Cyclic Tasks:</b>															
1	3			1150	400	NA	NA	NA	N	N	N	SR	YES	NO	SR Change priority is 1
2	6			1150	400	NA	NA	NA	N	N	N		YES	NO	
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
<b>Non-Cyclic Tasks:</b>															
1															
2															
3															
4															
5															
<b>Routine Maintenance (daily/weekly):</b>															
<b>Tool Change Functions:</b>															

ILUSTRACIÓN 9. WORKSHEET FORD MOTOR COMPANY (DOCUMENTACIÓN FORD)

Para tener una idea de los límites de altura y alcance de trabajo que se consideran adecuados, el worksheet ofrece una ayuda visual para el ergónomo que realiza el análisis. Esta ayuda se refleja en la siguiente ilustración.



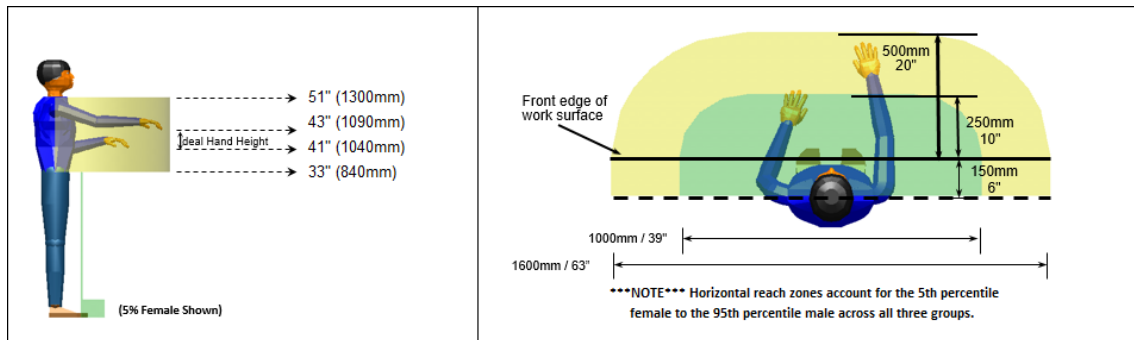


ILUSTRACIÓN 10. LÍMITES DE ALTURA Y ALCANCE. (WORKSHEET DE FORD).

Esta hoja Excel se va utilizando durante las distintas etapas de implantación del puesto de trabajo, reflejando también en otros apartados el proceso concreto que se sigue en esa operación (que por motivos de confidencialidad no se reflejan), así como algunas definiciones para su uso.

Adicionalmente, y de manera paralela, Ford está desarrollando una serie de macros de Excel, que unifican 5 archivos de características en uno solo. Estos documentos incluyen desde datos de utilizados en los análisis ergonómicos, hasta datos de producción, pasando por tiempos de ciclo o tiempos de cada tarea.

Estos documentos se obtienen a través de una solicitud al equipo de desarrollo de estas macros (proyecto Frankenstein), que envían esos 5 documentos, y con el Excel y las macros desarrolladas, es capaz de unificar toda esa información en un único documento que automáticamente realiza el estudio ergonómico reflejando las tareas más críticas.

Este documento Excel funciona gracias a que todos los datos de altura y alcance deben de estar introducidos en la base de datos de Ford, así como un desglose de todas las tareas realizadas en el puesto con el número de piezas y herramientas utilizadas, comparando la descripción y los datos con una serie de estándares, que determinan la severidad del puesto.

En la siguiente imagen se refleja la parte referente a la ergonomía del documento Excel.

ERGONOMICS WORKSHEET																	
Process	Country	Plant	Workstation Title or Description	Workstation Number	Workstation Type	Measurement System	Operator	Hour Test Number	Major ID Number	Overall Workstation Score	Rating Scale Remarks	Duration	Shift	Realt	Shift Build MOPP	Level	Reference
Process Data			Ergonomic Data				Assessment Data				Deep Dive Information						
Element ID	Frequency (Elements)	Repetitions (Repeats, Rows, Shifts, Day, etc.)	Work Element or Step	Time	Unit of Time	Pack/Full/Lift Force (N/Min/Max)	Effort/Force (N/Min/Max)	Reach (cm)	Reach (in)	Reach (cm)	Reach (in)	Total Hand Involvement	Cycle Time (sec)	Deep Dive Approved?	Max. Approvable Pack/Full/Lift Force (N)	Max. Approvable Effort/Force (N)	Comments
101	1	1	Strip 2 coils from the Coil Table	2.6	seconds	0N	0N	91	4			2.6	100 Strains	Yes			
102	1	1	Place Coil onto Shelf in Damage	2.6	seconds	0N	2	49.52	9.8			2.6	100 Strains	Yes			
103	1	1	Insert 1st Coil into Bottom Groove on QPS in Damage	2.6	seconds	0N	2	49.01	9.8								
104	1	1	Insert 2nd Coil into Bottom Groove on QPS in Damage	2.6	seconds	0N	2	49.01	9.8								
105	1	1	Strip T10 binding from Damage Rack	2.6	seconds	0N	2	18	1			2.6	100 Strains	Yes			
106	1	1	Lift T10 Binding over Damage	1.6	seconds	0N	2	49.52	1			1.6	100 Strains	Yes			
107	1	1	Strip T10 Binding over Shelf on QPS	0.4	seconds	0N	2	49.52	1								
108	1	1	Strip QPS from Damage with Left Hand	1.6	seconds	0N	0	49.52	9.8								
109	1	1	Lift QPS out of Damage with Left Hand	1.6	seconds	0N	0	49.52	9.8			1.6	100 Strains	Yes			Reach is within acceptable limits
110	1	1	Walk 4 Steps with QPS to Equipment	2.3	seconds	0N	0	42	1								
111	1	1	Place Handled QPS from Floor Finish with Right Hand	1.6	seconds	0N	0	21	10	1							
112	1	1	Place Handled QPS to Pick-and-Place Finish with Right Hand	1.2	seconds	0N	0	49	4	1							
113	1	1	Place QPS into Process Finish with Left Hand	1.2	seconds	0N	0	37	10	1							
114	1	1	Place gate button	0.8	seconds	0N	0	19	1	1							
115	1	180	Obtain Empty Test T00189 Tare	1.6	seconds	0N	1	40	1								
116	1	180	Place Empty 2nd T00189 Tare to Return Line	1.2	seconds	0N	1	33	1			1.2	Equip/Part Card	Yes			
117	1	180	Obtain Empty T10 T0189 Damage Tray	1.6	seconds	0N	1	33	1								
118	1	180	Place Empty T10 T0189 Damage Tray to Return Line	1.2	seconds	0N	1	21	1			1.2	Equip/Part Card	Yes			
119	1	180	Strip Empty Damage Tray	1.4	seconds	0N	24	49.52	11			1.4	Equip/Part Card	Yes			
120	1	180	Lift Empty Damage Tray	1.6	seconds	0N	24	49.52	11			1.6	Equip/Part Card	Yes			
121	1	180	Walk 8 Steps with Empty Damage Tray to Acid	2.8	seconds	0N	24	44	11								
122	1	180	Acid Empty Damage Tray	0.4	seconds	0N	24	34.08	11								

ILUSTRACIÓN 11. ERGONOMIC WORKSHEET (DOCUMENTACIÓN FORD)

Lo único que sería necesario rellenar (en el caso de que esta información no estuviese aún disponible en la base de datos) sería la aprobación o no del puesto de trabajo junto con el método de evaluación ergonómica que se ha realizado.

### 2.4.3 Estado ergonómico de los puestos de trabajo de la VEP.

La evaluación ergonómica de los puestos de trabajo manuales es un proceso continuo ya que cualquier mínimo cambio en un puesto es estudiado al detalle, y una vez implantado, el puesto es nuevamente evaluado ergonómicamente.

La llegada de un nuevo motor a la producción implica modificación e inclusión de nuevos procesos. Estos cambios implican una nueva evaluación ergonómica del puesto. Para poder hacerse una idea se reflejan en las dos siguientes ilustraciones los mapas ergonómicos de la línea de montaje antes de la llegada del nuevo motor, y el estado de la línea con la llegada del nuevo motor sin realizar evaluaciones ergonómicas.

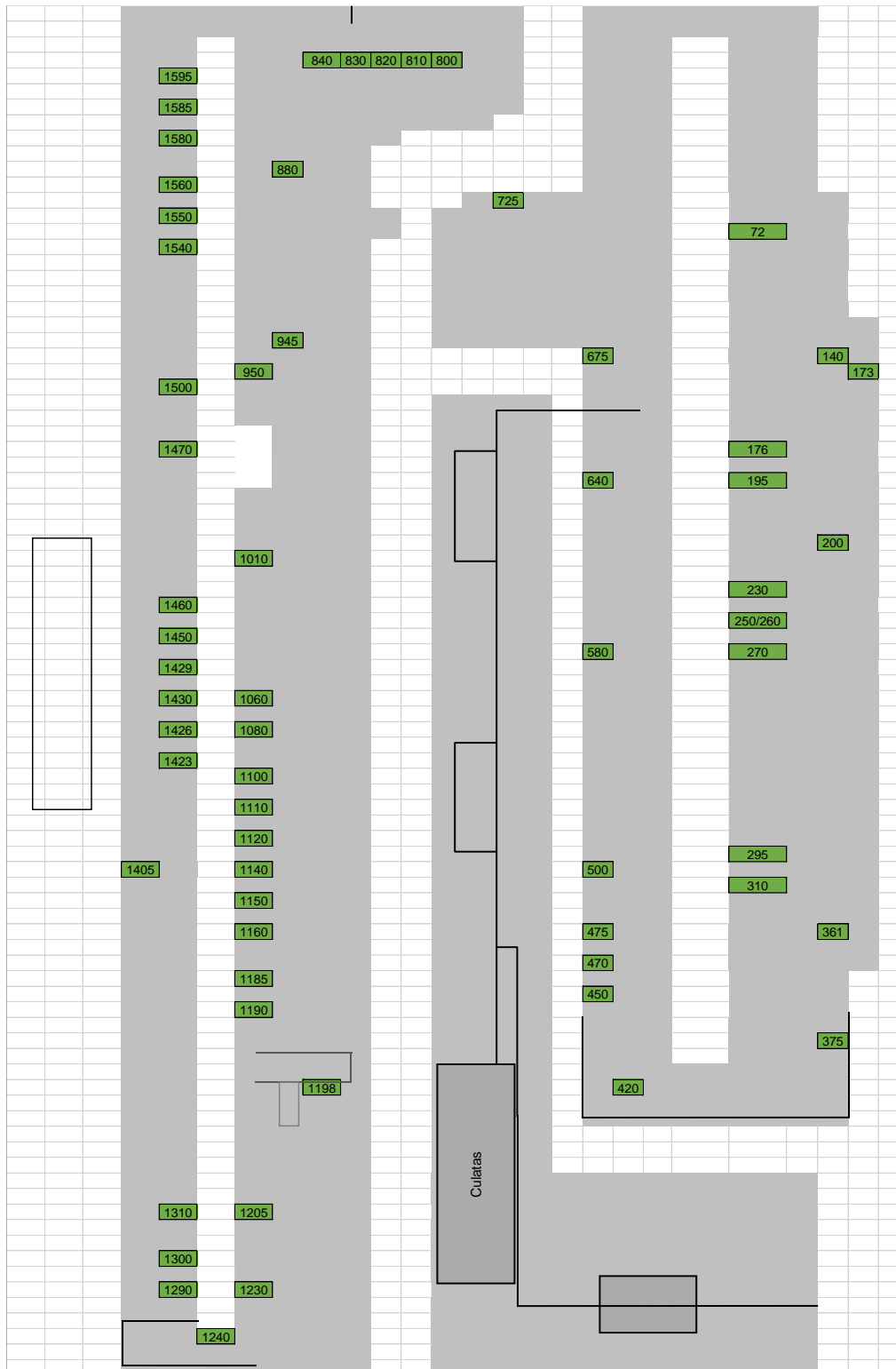
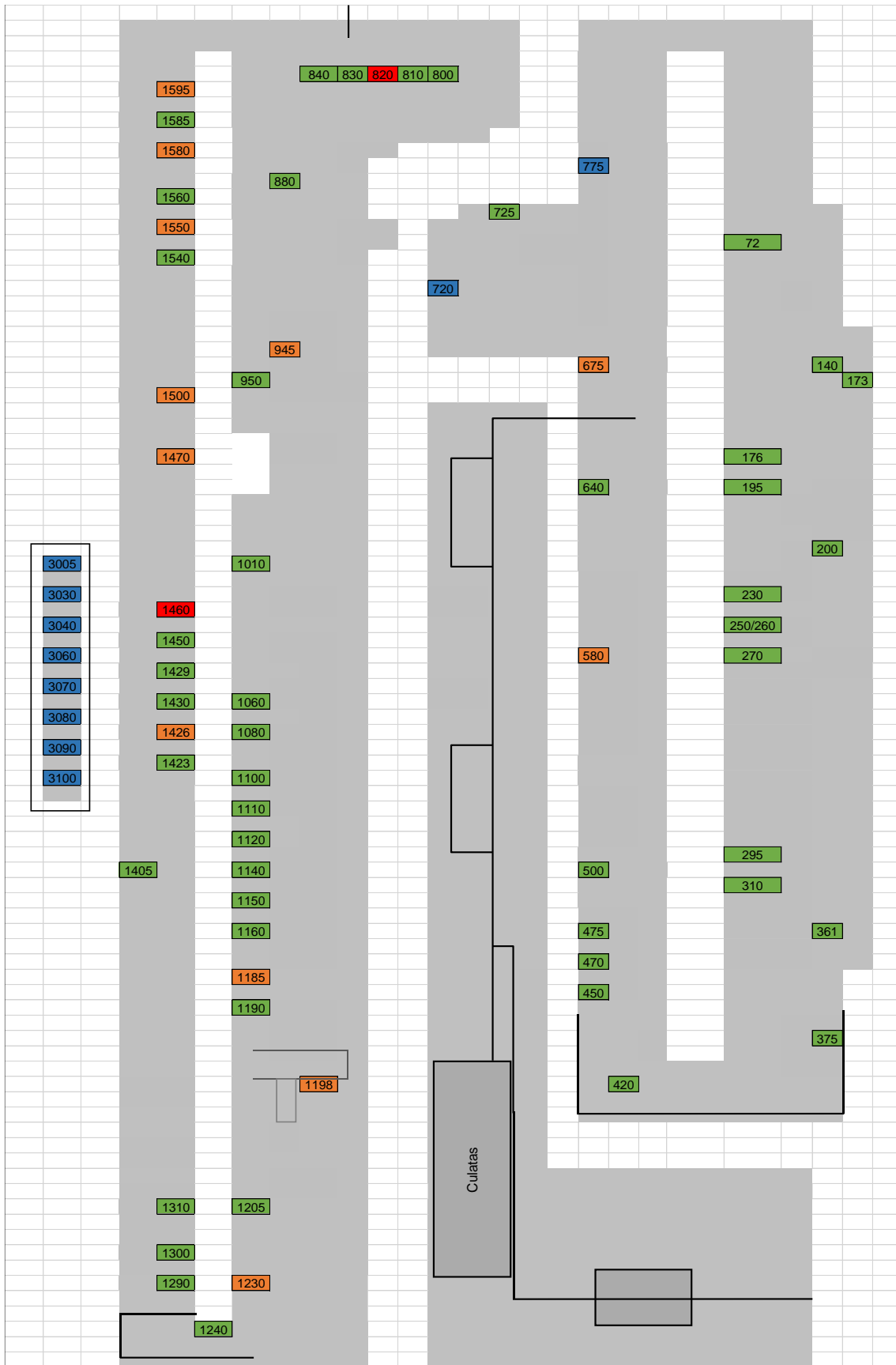


ILUSTRACIÓN 12. MAPA ERGÓNOMICO PREVIO AL NUEVO MOTOR

Con la llegada del nuevo motor es necesario validar ergonómicamente los puestos existentes que han sufrido cambios, así como los puestos que son exclusivos de operaciones que se realizan en el nuevo motor. Con los cambios en la línea con la llegada del nuevo motor, el mapa se presenta de la siguiente forma:



- OK
- Eliminada
- Proceso exclusivo MV
- MV balanceada

ILUSTRACIÓN 13. MAPA PARA LA LLEGADA DEL NUEVO MOTOR PREVIO A LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA.

## 2.5 ErgoStation

Podemos definir la ErgoStation como una herramienta autónoma de análisis ergonómico, con la que se pretende eliminar la subjetividad del ergónomo en la evaluación de la higiene postural de los puestos de trabajos manuales.

La ErgoStation nace de la necesidad y la intención de Ford Motor Company de reforzar uno de los pilares de la empresa de ofrecer un trabajo saludable. El germen de la idea nace de la posibilidad de las cámaras Kinect de identificar cuerpos humanos y recrear el esqueleto a partir de sus articulaciones. A partir de esto se estudia poder calcular los ángulos a través de geometría analítica, y a su vez establecer un criterio de ángulos que defina las zonas de trabajo adecuadas y las de mayor severidad. Con esta idea el equipo de ergonomía de la VEP y el de visión artificial, acuerdan con un integrador las características del proyecto.

El proyecto ErgoStation nació a principios de 2015 con la intención de desarrollar una herramienta capaz de ofrecer datos objetivos con los que poder realizar estudios ergonómicos. La llegada de las cámaras Kinect y su capacidad para detectar cuerpos humanos hizo pensar acerca de su posible aplicación a la ergonomía, desarrollándose el proyecto en distintas fases reflejadas las siguientes ilustraciones, siendo la fase 6, el objeto de este TFM:

ETAPAS	Años				
	Meses	1	2	3	4
<b>FASE 1</b>					
Introducción a las ToF. Kinect v2					
Kinesthesia. Body tracking					
Idea aplicación para ergonomía					
Contacto con integrador					
Definición e especificaciones técnicas					

ILUSTRACIÓN 14. CRONOGRAMA FASE 1 PROYECTO ERGOSTATION

ETAPAS	Años				
	Meses	6	7	8	9
<b>FASE 2</b>					
Funcionamiento Kinect v2					
Estudios relacionados					
Librerías LABView relacionadas					
Arquitectura con 4 cámaras					
Calibración en dos pasos					
Fusión de esqueletos					

ILUSTRACIÓN 15. CRONOGRAMA FASE 2 PROYECTO ERGOSTATION

	Años		Año 2016										
	Meses	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>FASE 3</b>													
Diseño de la interfaz													
Diseño de las gráficas													
Sincronización gráficas y video													
Criterios ergonómicos													
Pruebas iniciales													
Pruebas en línea de montaje													
Versión final ErgoStation v1.0													

ILUSTRACIÓN 16. CRONOGRAMA FASE 3 PROYECTO ERGOSTATION

	Año 2016		Año 2017		
	11	12	1	2	3
<b>FASE 4</b>					
Prueba inicial ErgoStation v1.0					
Depuración de errores					
Planificación y pruebas en planta					
Definir procedimiento de uso					
Limitaciones ErgoStation v1.0					

ILUSTRACIÓN 17. CRONOGRAMA FASE 4 PROYECTO ERGOSTATION

	Años		Año 2017								
	Meses	4	5	6	7	8	9	10	11		
<b>FASE 5</b>											
Mejora de los algoritmos de cálculo											
Incluir más métodos ergonómicos											
Tecnología Inercial. Sistema Híbrido											
Nueva definición de especificaciones											
Desarrollo Ergo Station v2.0											

ILUSTRACIÓN 18. CRONOGRAMA FASE 5 PROYECTO ERGOSTATION

	Año 2017				Año 2018		
	12	1	2	3	4	5	6
<b>FASE 6</b>							
Uso y validación Kinect							
Pruebas iniciales sensores inerciales							
Comparativa Kinect vs Inerciales							
Estudios ergonómicos Ergo Station							
Definición estudios ErgoStation							
Definición de errores y mejoras							
Desarrollo Ergo Station v3.0							

ILUSTRACIÓN 19. CRONOGRAMA FASE 6 PROYECTO ERGOSTATION

### 2.5.1 Versión actual de la ErgoStation

El actual **hardware** consta de un rack en el que hay 6 pc, conectados a un monitor común pudiendo acceder a los distintos pcs gracias a un switch; también consta de un teclado y ratón común a todos los pcs. De los 6 pcs, 4 son para cada una de las cámaras Kinect, debido a la no posibilidad de conectar más de una cámara Kinect a un mismo ordenador. Otro de ellos es el servidor que comunica cada uno de los 4 pc de cada una de las cámaras con el último pc, el HMI, donde funciona el software que recoge los datos y con el que el ergónomo interactúa. Las siguientes ilustraciones pretenden ser explicativas sobre lo descrito anteriormente:

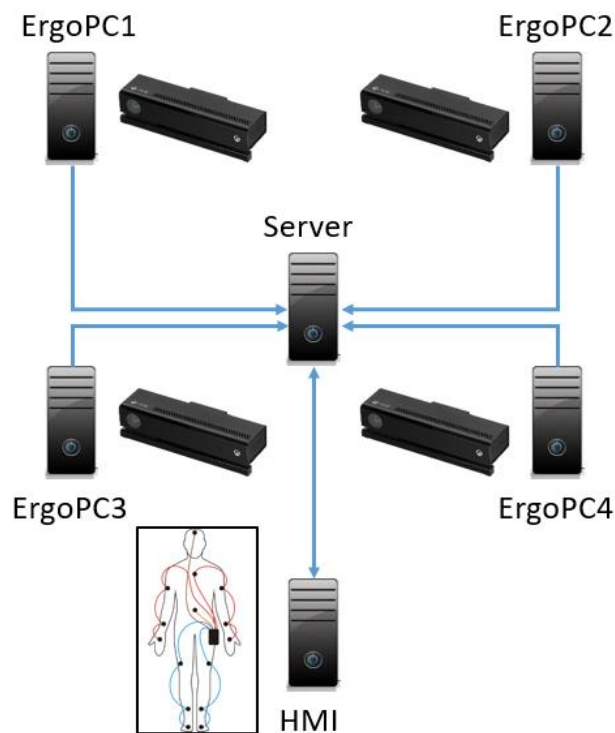


ILUSTRACIÓN 20. ESQUEMA HARDWARE ERGOSTATION.



ILUSTRACIÓN 21. RACK COMPLETO



ILUSTRACIÓN 22. PCs ERGOSTATION



ILUSTRACIÓN 23. SWITCH ERGOSTATION

En la parte trasera del rack se encuentra el conexionado usb de las cámaras, la conexión de alimentación de las cámaras a 12 V, las conexiones del PC (pantalla y teclado y ratón USB) y alimentación de los PCs y del switch.

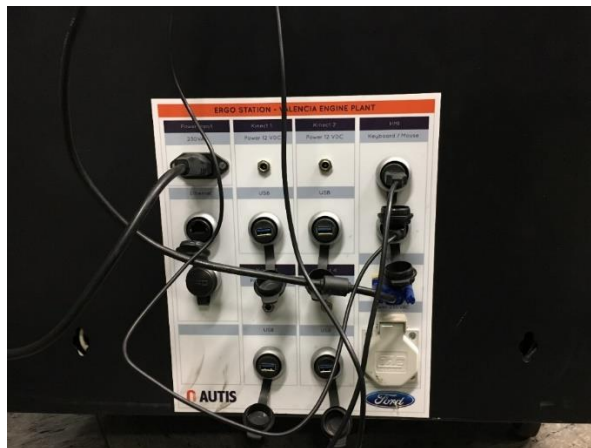


ILUSTRACIÓN 24. PANEL TRASERO DE CONEXIONADO



La siguiente imagen muestra una de las cámaras Kinect:



ILUSTRACIÓN 25. CÁMARA KINECT V2

En la fase de uso de la ErgoStation (explicada posteriormente en el manual situado en anexos, y que ha sido desarrollado por el autor del presente TFM) será necesario situar el elemento calibrador, en las siguientes imágenes se refleja la parte delantera y la parte trasera respectivamente:

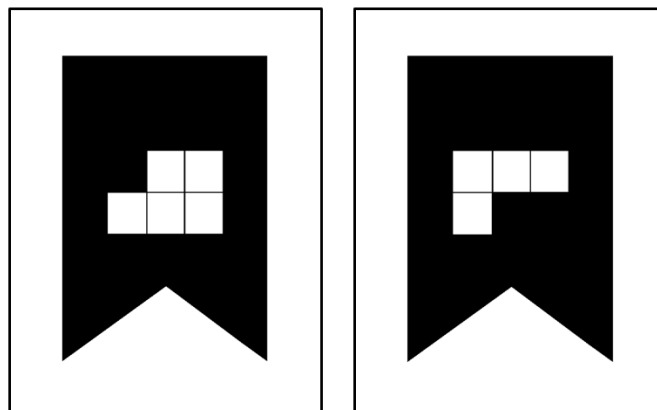


ILUSTRACIÓN 26. PARTE DELANTERA Y TRASERA DEL CALIBRADOR

Para la utilización de los sensores inerciales, se conectará la antena bluetooth en la parte superior del rack, y se seguirán los pasos del manual conexión de los sensores inerciales proporcionado por TechNaid (se puede encontrar en la bibliografía).



ILUSTRACIÓN 27. SENSOR INERCIAL (OBTENIDO DE TECHNAID)



ILUSTRACIÓN 28. PUERTO USB ANTENA BLUETOOTH

El **software** desarrollado para la interacción del ergónomo con la ErgoStation se encuentra principalmente en el pc HMI. Este software permite configurar nuevos ensayos y/o observar ensayos anteriores, así como conectar y desconectarlo del pc servidor.

Cada uno de los PCs que constituyen la ErgoStation, se comunican entre ellos, gracias al PC Server, que recoge la información de los ErgoPCs y la envía al HMI.

El PC Server tiene un aspecto como el que se muestra en la imagen:

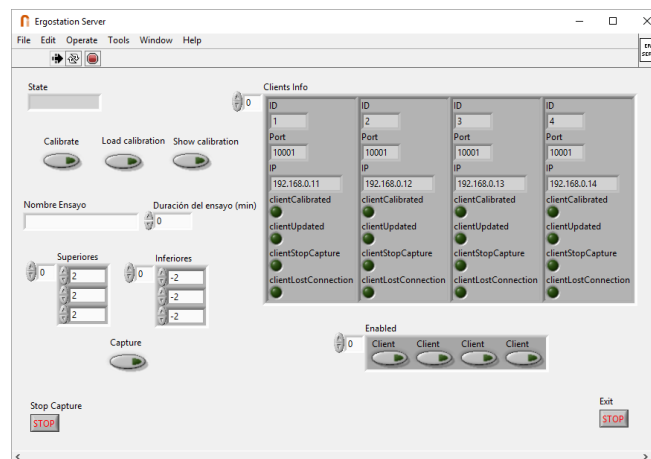


ILUSTRACIÓN 29. PC SERVER

Mientras que los ErgoPCs tiene un aspecto como el siguiente:

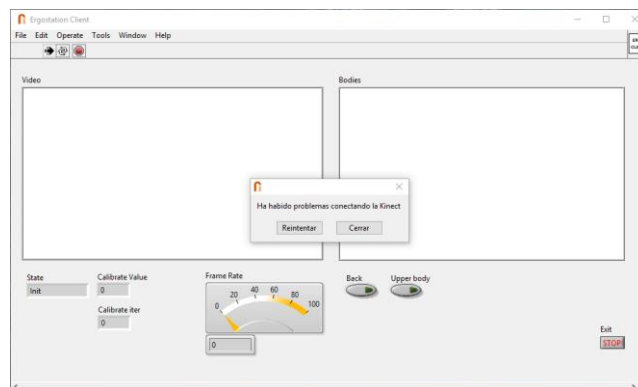


ILUSTRACIÓN 30. ERGOPC

Con el que principalmente se interactuará será con el PC HMI. A continuación, se describe los diferentes procedimientos de realizar ensayos y/o revisiones con el PC HMI.

### 2.5.2 Funcionamiento de la tecnología Kinect usada en la ErgoStation

La tecnología Kinect se desarrolló por Microsoft como un controlador de videojuego que permite al jugador controlar e interactuar sin la necesidad del clásico mando tradicional. Esto es posible gracias a un interfaz de usuario que reconoce gestos, voz e imágenes.

El principio de funcionamiento está basado en el tiempo de vuelo (ToF), que consiste en la iluminación y a la observación de la luz reflejada, midiendo el desplazamiento entre las dos, que se traduce en distancia.

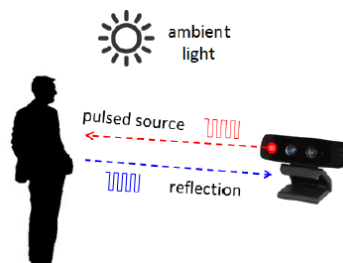


ILUSTRACIÓN 31. ESQUEMA FUNCIONAMIENTO DE LA KINECT (DOCUMENTACIÓN INICIAL DE FORD SOBRE EL PROYECTO ERGOSTATION)

El dispositivo está formado por un cámara RGB, un sensor de profundidad (IR combinado con sensor CMOS, semiconductor complementario de óxido metálico), micrófono, así como su propio procesador.

La cámara RGB detecta la luz visible y sigue los movimientos del usuario. El **proyector IR** manda rayos que rebotan en los objetos de la habitación y la **cámara IR** crea un espacio de juego que se reproduce en la pantalla.

El sensor de Kinect es clasificado como una cámara de profundidad. Esta tecnología está modificando cómo interactúan y obtienen información los robots y máquinas, sustituyendo la monovisión, estereovisión, el láser, los sensores ultrasónicos y de radar.

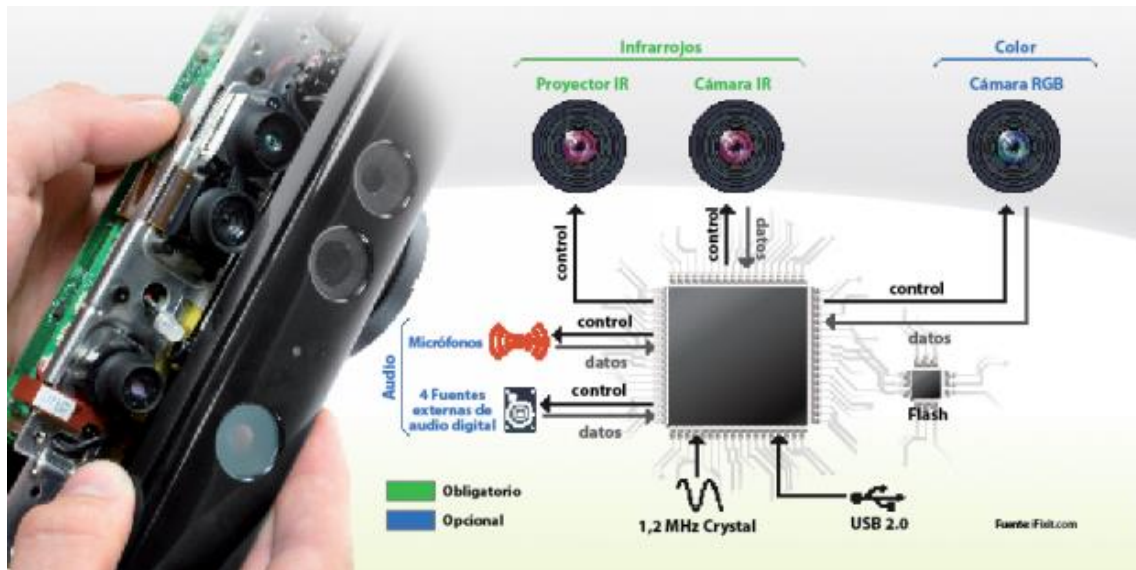


ILUSTRACIÓN 32. PARTE INTERNA DE LA KINECT (DOCUMENTACIÓN INICIAL DE FORD SOBRE EL PROYECTO ERGOSTATION)

Esta tecnología también permite representar mapas de profundidad en 3D como una nube de puntos que forman una malla sobre la que se mapea la imagen capturada.

Por el momento han existido dos versiones de la Kinect para Windows:

	Kinect V1	Kinect V2
<b>Tecnología</b>	Método de luz estructurada: proyecta un patrón conocido y según su deformación, se obtiene la profundidad de la superficie capturada.	Más precisión en la profundidad utilizando tecnología ToF de onda continuada.  
<b>Video</b>	640×480 @30 fps 1280×960 @12 fps	1920×1080 @30 fps High Definition
<b>Profundidad</b>	*320×240, 640×480 *Distancias 0.8 a 4 metros en modo default.	*512×424 *Distancias 0.5 a 4.5 metros *Existen pruebas con firmware

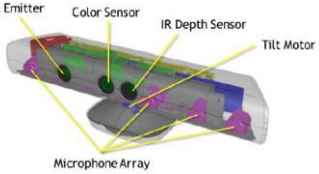
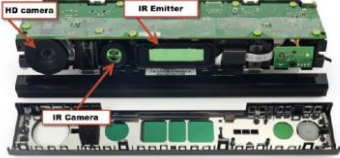
	*Distancias de 0.4 a 3 metros en modo cercano (Near mode)	no liberado aún que permiten hasta 8 metros
<b>Forma de detección del cuerpo</b>	*Hasta 6 cuerpos  * 20 articulaciones por cuerpo	*6 personas completamente rastreadas.  * 25 articulaciones por cuerpo
<b>Campo de visión</b>	Con motor +27º y -27º.	No. Posee mayor ángulo de visión.
<b>USB</b>	2.0	3.0
<b>Sistema Operativo</b>	Win7 o superior	Win 8.1 o superior (64 bits)
<b>Kinect partes</b>		

TABLA 4. COMPARATIVA ENTRE KINECT V1 Y KINECT V2 (COMPUTERHOY.COM)

### 2.5.3 Funcionamiento de la tecnología inercial usada en la ErgoStation

De manera muy simplificada, el funcionamiento de los sensores inerciales se basa en medir:

- a. Aceleración
- b. Velocidad angular

Para ello los sensores inerciales están compuestos de:

- a. Acelerómetros
- b. Giróscopos.
- c. Magnetómetros.

Estos componentes miden la aceleración lineal del sensor, la velocidad angular y el norte magnético respectivamente.

### 3 Desarrollo del proyecto

El TFM desarrolla la fase 6 del proyecto ErgoStation, como se ha reflejado en el apartado 2.5 ErgoStation que contemplan los siguientes desarrollos:

- Uso y validación de las Kinect
- Pruebas iniciales sensores iniciales
- Comparativa Kinect vs Sensores inerciales
- Estudios Ergonómicos con ErgoStation
- Definición de estándar de los informes ErgoStation
- Definición de errores y mejoras
- Desarrollo de ErgoStation 3.0 (simplificación)

Para realizar estos desarrollos el proyecto se ha diferenciado en 4 partes que son: análisis, implantación para la fabricación del nuevo motor, propuestas de soluciones y simplificación de la ErgoStation (una propuesta de mejora más desarrollada que el resto). El siguiente esquema pretende reflejar una visión global del desarrollo del TFM.

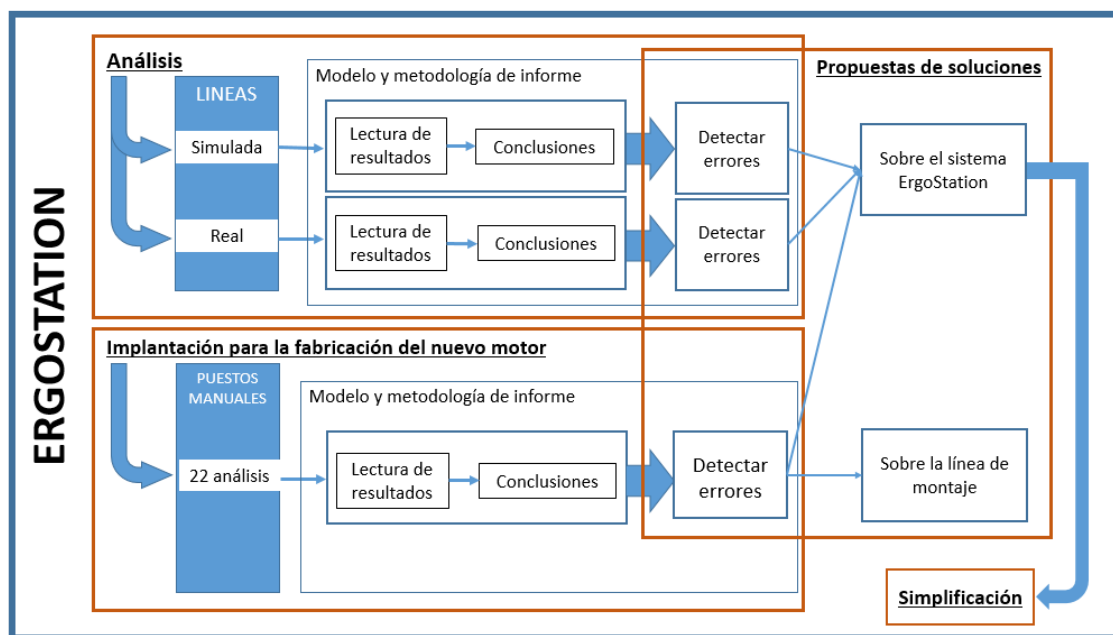


ILUSTRACIÓN 33. ESQUEMA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

#### 3.1 Análisis:

Esta parte comprende las pruebas de funcionamiento realizadas con el sistema para comprender su funcionamiento, y detectar errores de captación en los sistemas o diferencias entre ambos. Esta fase se realizará primeramente en una "línea simulada", es decir, de manera aislada, pudiendo realizar los movimientos que se quieran comprobar; para esto se utilizarán conjuntamente los dos sistemas de captación (cámaras Kinect y sensores inerciales). Posteriormente, se realizará una prueba en la línea "real" en un puesto manual muy sencillo,

con el fin de comprender el funcionamiento, y detectar posibles limitaciones y/o errores que se puedan producir en la línea real durante el uso de la ErgoStation. Esta prueba en la línea real se realizará utilizando los dos sistemas de captación conjuntamente.

Además, en esta fase, se desarrollará el modelo y metodología de informe para el análisis de estas líneas.

Para realizar todo esto, ha sido necesario instalar la ErgoStation (en ambos entornos, simulado y real), poniendo las 4 cámaras y poniéndose los sensores inerciales e iniciar un nuevo ensayo para proceder a la captura de imágenes y datos. Para iniciar el nuevo ensayo se han seguido los pasos reflejados en el manual de uso de la ErgoStation (situado en el apartado anexos), **dicho manual ha sido desarrollado por el autor del presente TFM.**

En las pruebas que se van a realizar se van a estudiar los siguientes movimientos del cuerpo:

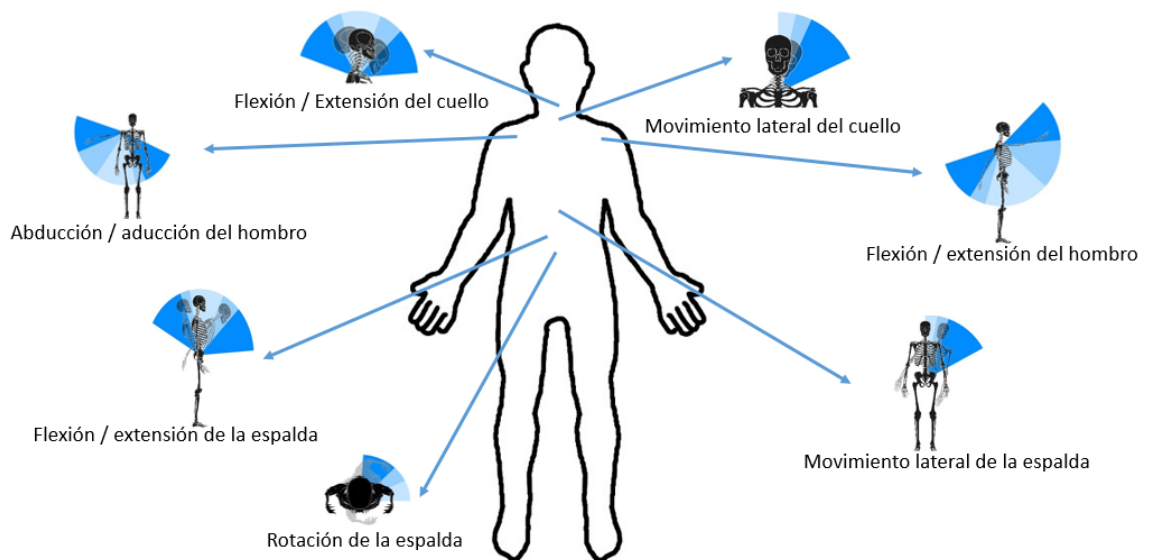


ILUSTRACIÓN 34. PARTES DEL CUERPO Y MOVIMIENTOS ESTUDIADOS.

La ErgoStation también contempla analizar movimientos de muñeca y piernas, pero no se van a analizar debido a que no se consideran movimientos críticos, o si lo fuesen, siempre son dependientes de fuerzas, algo que por el momento no se contempla en la ErgoStation; además se sabe que las muñecas no son captadas correctamente por las cámaras Kinect.

### 3.1.1 Estructura del informe de análisis.

Antes de analizar los datos, y tras la captación de imágenes de datos, se definió la estructura estándar que tendrán los informes análisis de esta fase, creando así un precedente a la hora de realizar análisis de funcionamiento de la ErgoStation.

El modelo de informe estándar que se ha desarrollado tiene la siguiente estructura:



Tipo de movimiento con su figura correspondiente

Breve comentario sobre los sistemas de captación

Imágenes de los movimientos realizados

Gráficas tiempo-ángulos del movimiento

Comentarios sobre las gráficas

Problemas observados (si los hubiese)

ILUSTRACIÓN 35. ESTRUCTURA DEL INFORME

Es importante tener en cuenta que las gráficas reflejan simultáneamente los datos captados por las cámaras y los datos capturados con los sensores, siendo la leyenda de colores siempre la misma:



Esta leyenda estaría incluida siempre en el encabezado de página del informe para una fácil consulta en caso de duda.

### 3.1.2 Informes de resultados del análisis en línea simulada

Se han realizado pruebas iniciales fuera de planta utilizando conjuntamente ambas tecnologías y comparando los resultados obtenidos:



## NECK LATERAL BEND

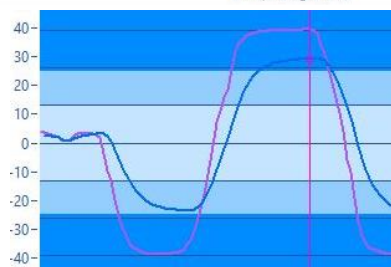
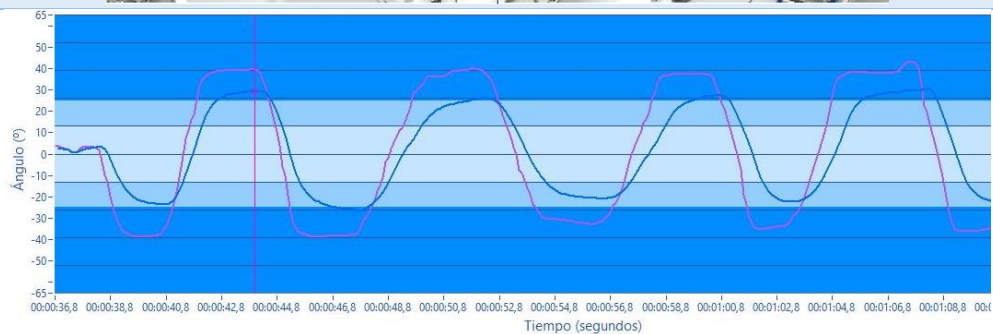
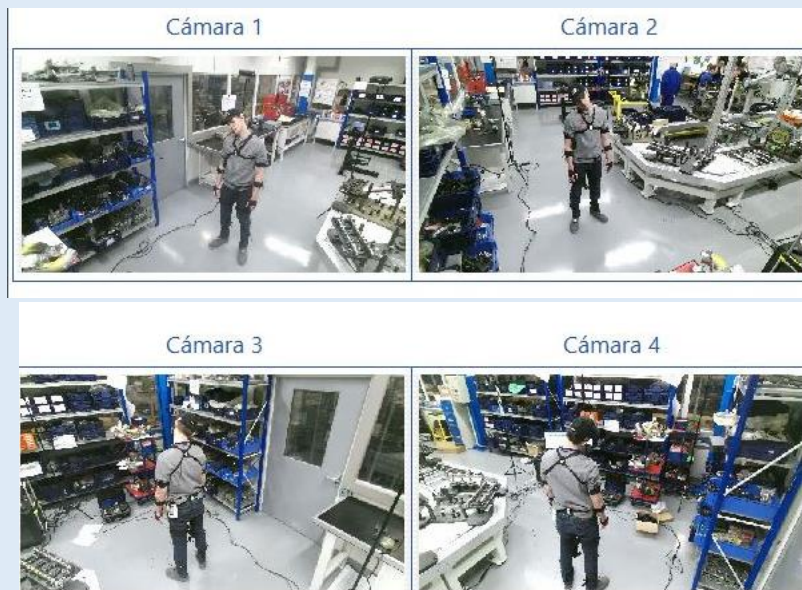


### Cámaras Kinect

Las cámaras Kinect dan la sensación de que no alcanzan los ángulos límites. Con un ligero retraso a la hora de representar la gráfica.

### Sensores inerciales

Los sensores inerciales son más precisos en este tipo de movimiento al estar determinado por la posición del sensor situado en la cabeza, con lo cual es crítica su correcta colocación.



Superior  $\rightarrow 40 - 30 = 10^\circ$

Inferior  $\rightarrow 40 - 25 = 15^\circ$

En este tipo de movimiento ambos sistemas consiguen un seguimiento muy similar, con mayor sensibilidad de los sensores (como se preveía). Parece que la diferencia entre los máximos de uno y otro es casi constante, al igual que la diferencia entre los mínimos.

## NECK FLEXION / EXTENSION



### Cámaras Kinect

Dan una buena respuesta ante el movimiento de flexión, pero no para el de extensión. Ligero retraso temporal.

### Sensores inerciales

Dan una buena respuesta para ambos movimientos

Cámara 1



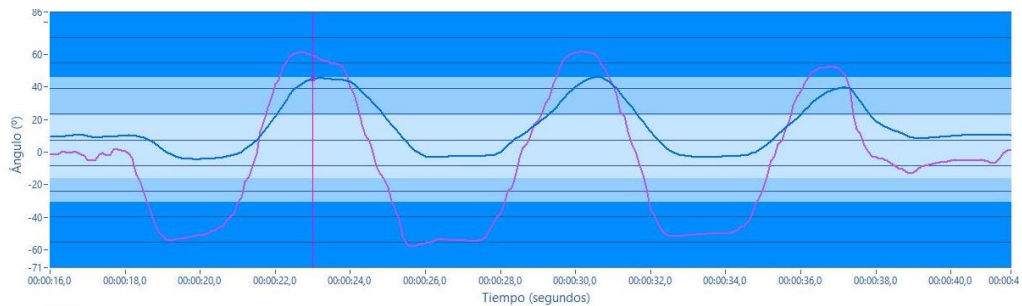
Cámara 2



Cámara 3



Cámara 4

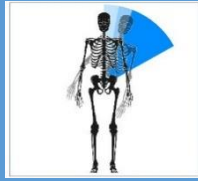


Superior  $\rightarrow 60-45 = 15^\circ$

Inferior  $\rightarrow 60-0 = 60^\circ$

En este tipo de movimiento se observan ya diferencias entre un sistema y otro. En las camaras el movimiento de extensión no está detectado (valor muy cercano a 0), mientras que los sensores si que captan la existencia de ese movimiento.

## LATERAL BACK BEND



### Cámaras Kinect

Dan una buena respuesta ante el movimiento de flexión, pero no para el de extensión. Ligeramente retraso temporal.

### Sensores inerciales

Dan una buena respuesta para ambos movimientos

Cámara 1



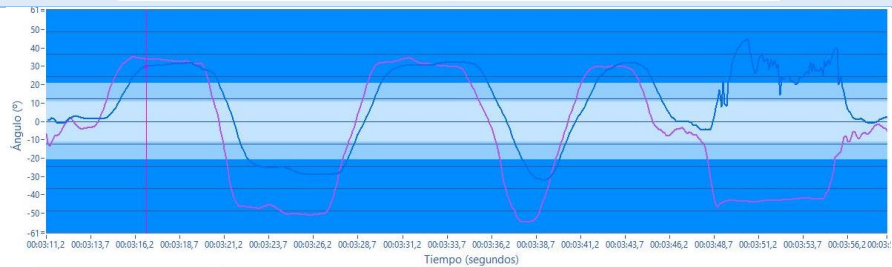
Cámara 2



Cámara 3



Cámara 4



Inclinación hacia derechas → resultados similares

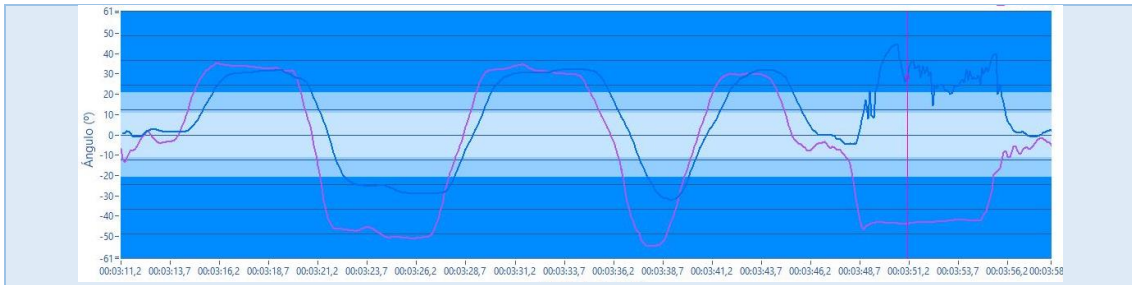
Inclinación hacia izquierdas → Más ángulo en sensores que en cámaras

En este tipo de movimiento se observan unos resultados muy similares a excepción de cuando se fuerza en movimiento lateral y las cámaras no llegan a detectarlo como los sensores.

### PROBLEMA

Cámara 2





Con una flexión los sensores están detectando un movimiento lateral bastante alto, algo preocupante.

Se desprecia en este caso las cámaras al no estar enfocando a la persona con todas ellas.

## BACK FLEXION /EXTENSION

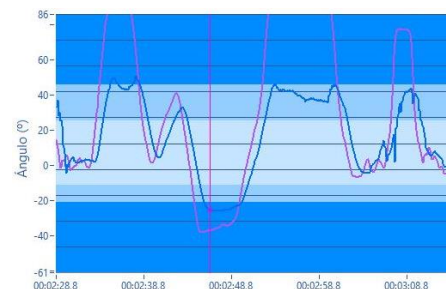
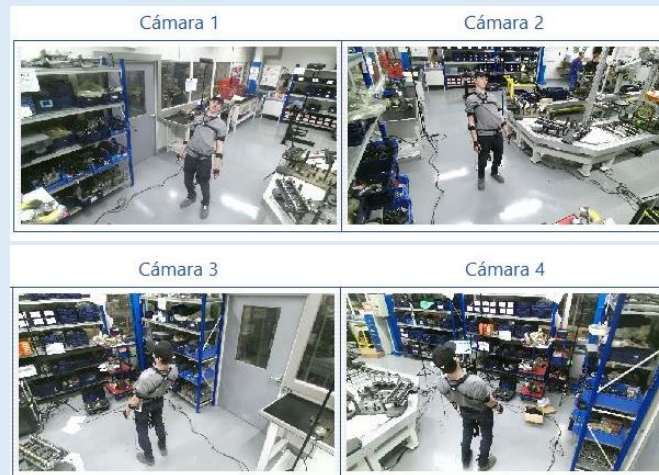
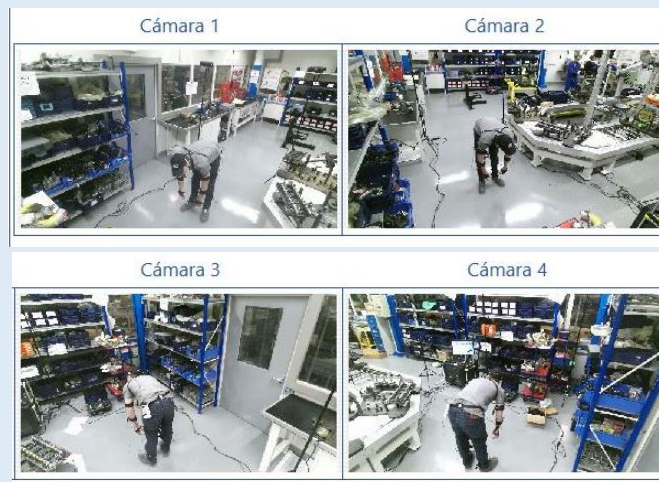


### Cámaras Kinect

Deben detectar bien en principio, al ser un movimiento sencillo.

### Cámaras Kinect

Deben detectar bien en principio, al ser un movimiento sencillo.

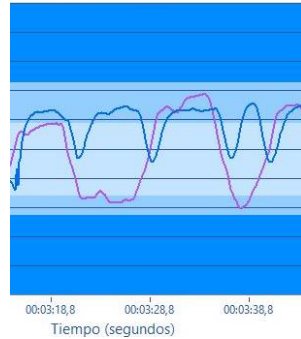


### Cámaras limitadas en movimientos máximos

Sensores detectan los movimientos perfectamente, mientras que las cámaras no llegan a los máximos del movimiento.

La tendencia de seguimiento son muy similares.

#### PROBLEMA



Cámara 1



Cámara 2



Cámara 3



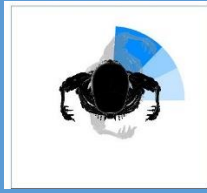
Cámara 4



Con un movimiento lateral hacia izquierdas los sensores están detectando extensión, mientras que con un movimiento lateral hacia derechas los sensores están detectando flexión.

Las cámaras detectan en ambos flexión, que tampoco parece ser del todo correcto pero al menos no son movimientos contrarios.

## BACK ROTATION

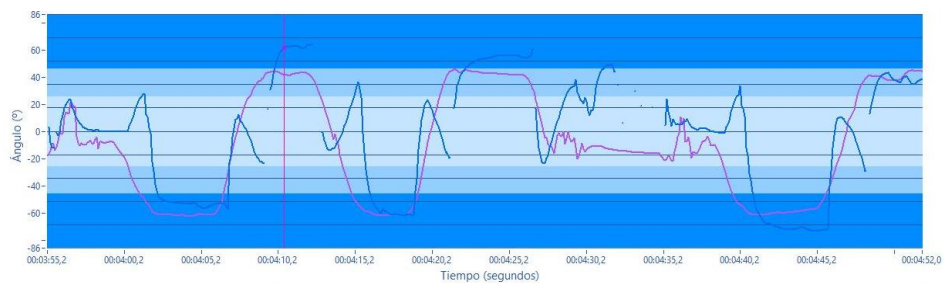
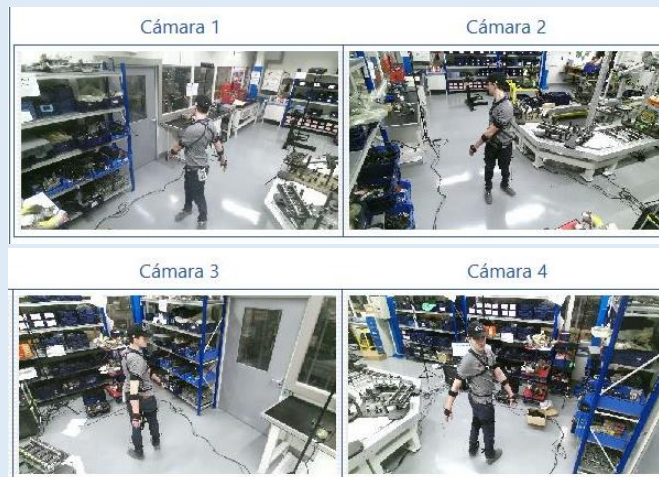


### Cámaras Kinect

Sabemos que de perfil, las cámaras tienen un funcionamiento malo, con lo que lo más probable es que se pierda la señal.

### Sensores inerciales

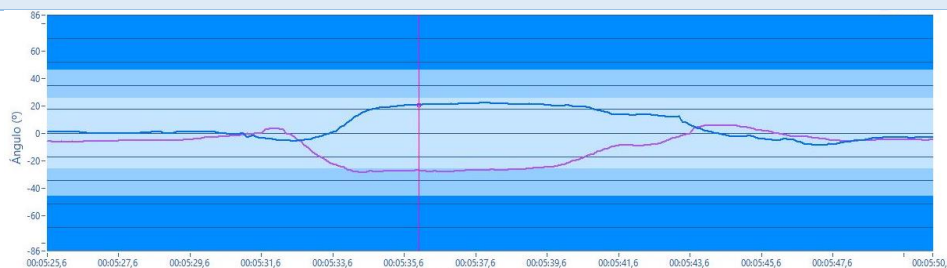
Debería de dar unos datos muy fiables ya que la rotación de la espalda es un movimiento muy marcado.

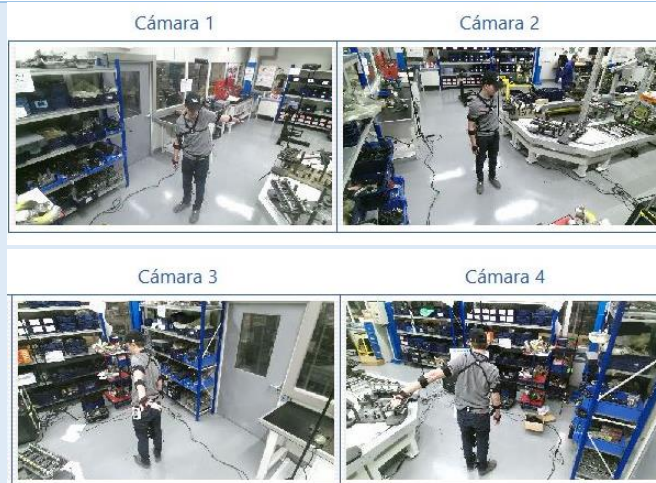


Señal perdida en las cámaras al situarnos casi de perfil.

Seguimiento de los sensores apreciablemente bueno.

### PROBLEMA





En un movimiento de extensión de hombro, es cierto que se puede producir un cierto movimiento de rotación, pero lo alarmante es que cámaras y sensores estén detectando la rotación en sentidos opuestos. Se comprueba que el movimiento fiable es el de los sensores.



## SHOULDER FLEXION / EXTENSION (RIGHT AND LEFT)

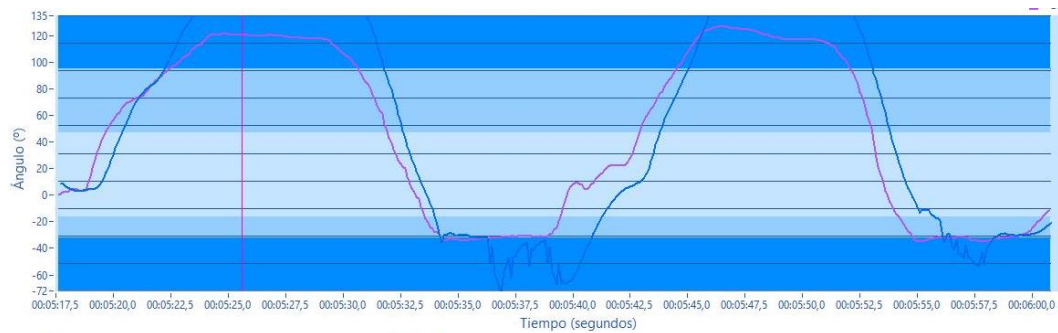
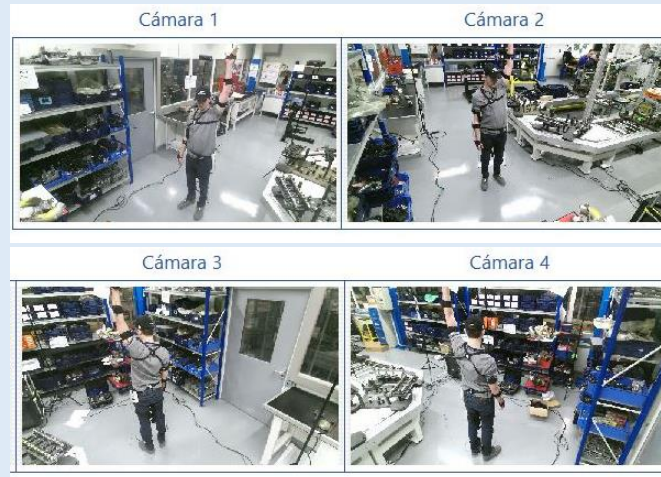


### Cámaras Kinect

En las pruebas realizadas anteriormente detectan bien la flexión, teniendo problemas en la extensión.

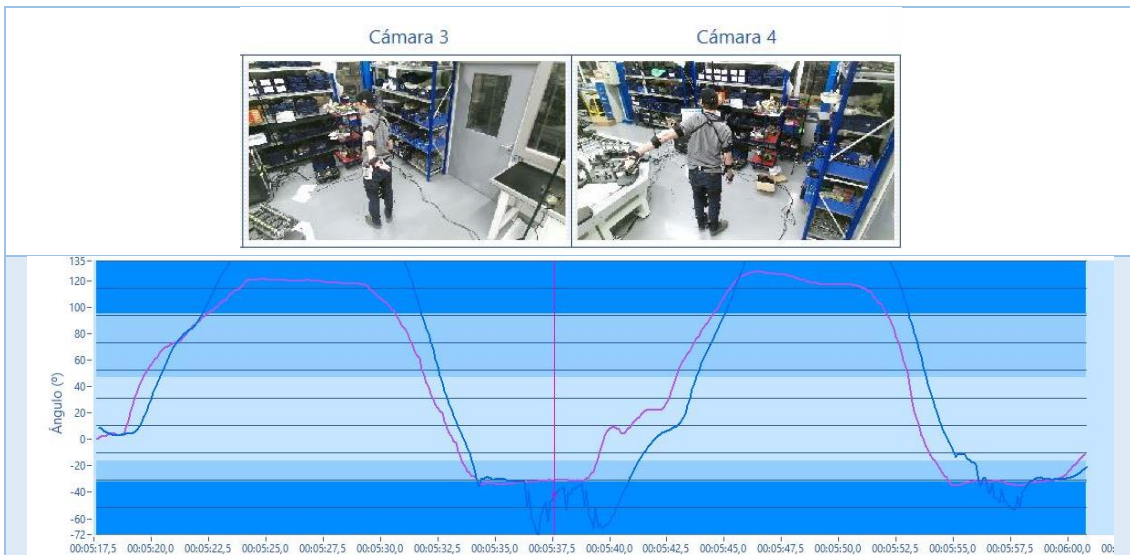
### Sensores inerciales

En principio deberían de presentar unos datos fiables ante movimientos tan sencillos.

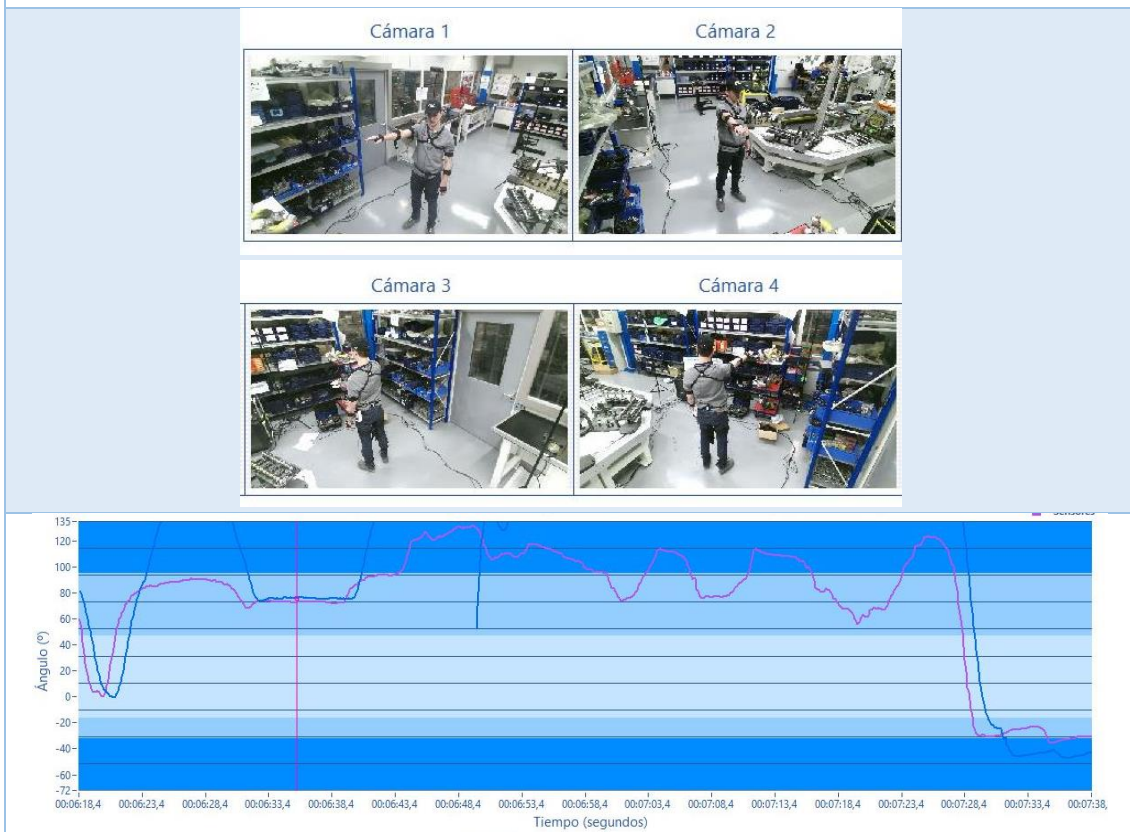


Al colocar el brazo en posición vertical, los sensores no llegan a tanto ángulo.





En el movimiento de extensión no llega a más de  $-30^\circ$ , lo cual parece indicar que ahí tiene una limitación.



En una flexión de  $90^\circ$ , ambos sistemas tienen una buena respuesta, pero estando limitados los sensores cuando se llega a cierto valor.

## SHOULDER FLEXION / EXTENSION (RIGHT AND LEFT)

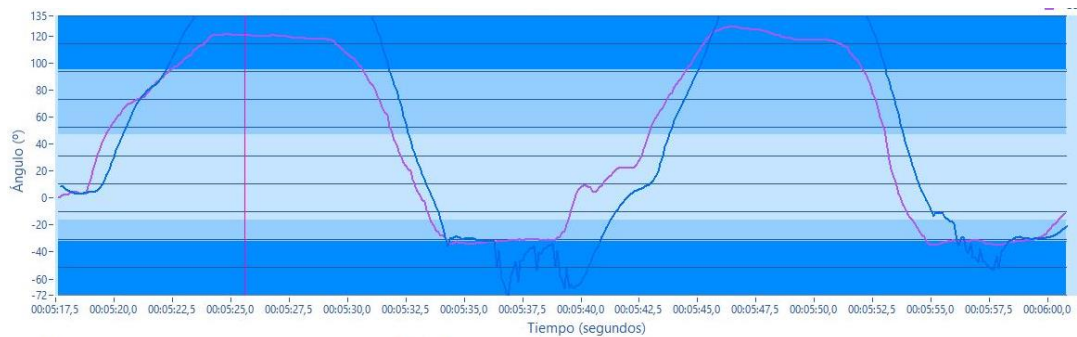
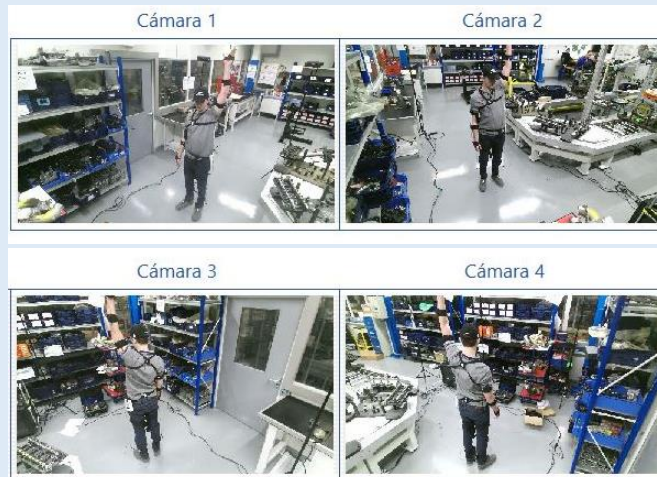


### Cámaras Kinect

En las pruebas realizadas anteriormente detectan bien la flexión, teniendo problemas en la extensión.

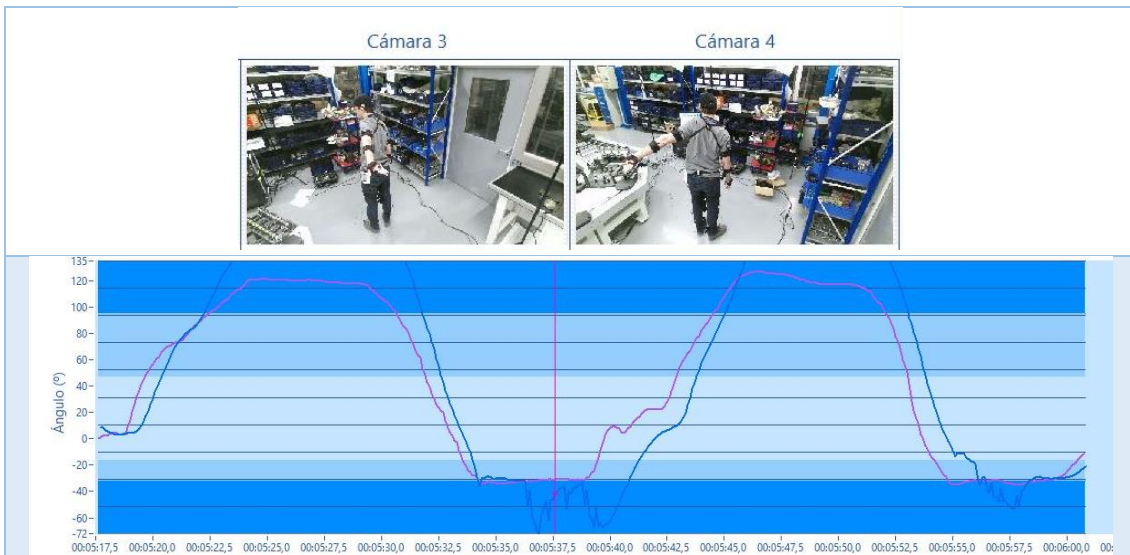
### Sensores inerciales

En principio deberían de presentar unos datos fiables ante movimientos tan sencillos.

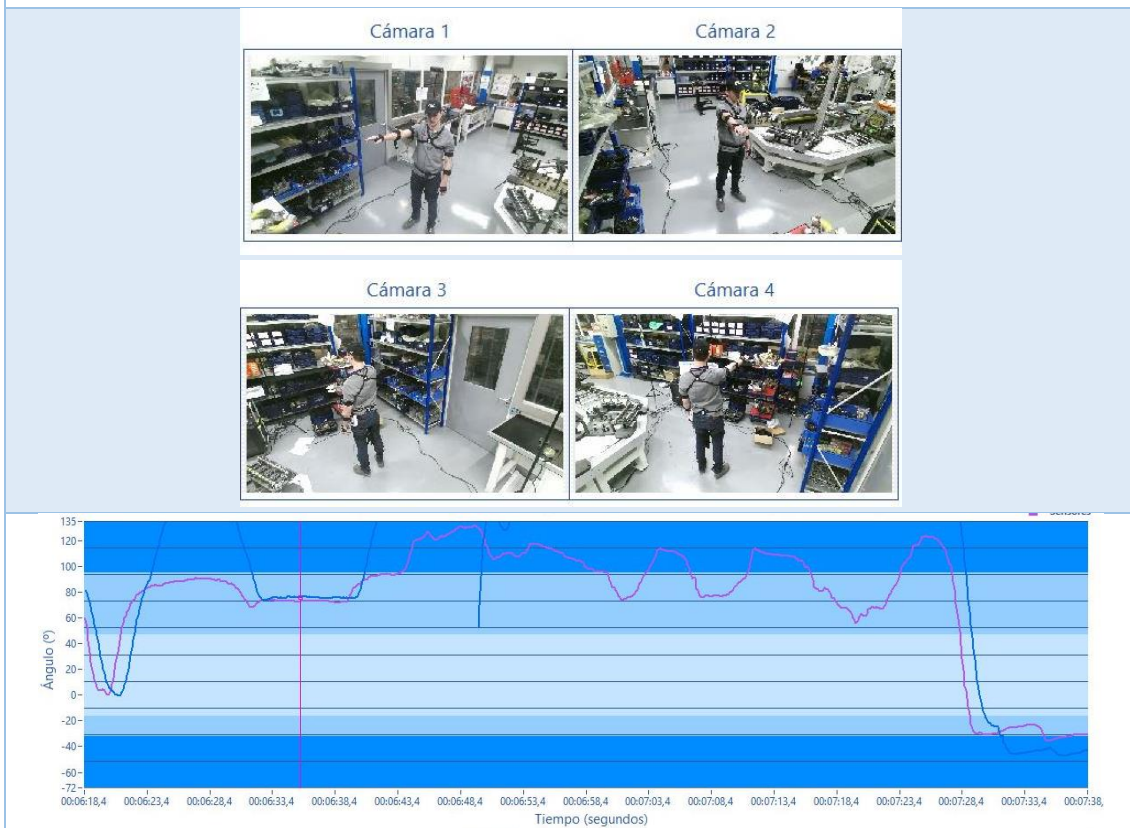


Al colocar el brazo en posición vertical, los sensores no llegan a tanto ángulo.





En el movimiento de extensión no llega a más de  $-30^\circ$ , lo cual parece indicar que ahí tiene una limitación.



En una flexión de  $90^\circ$ , ambos sistemas tienen una buena respuesta, pero estando limitados los sensores cuando se llega a cierto valor.

## SHOULDER ADDUCTION / ABDUCTION (RIGHT AND LEFT)

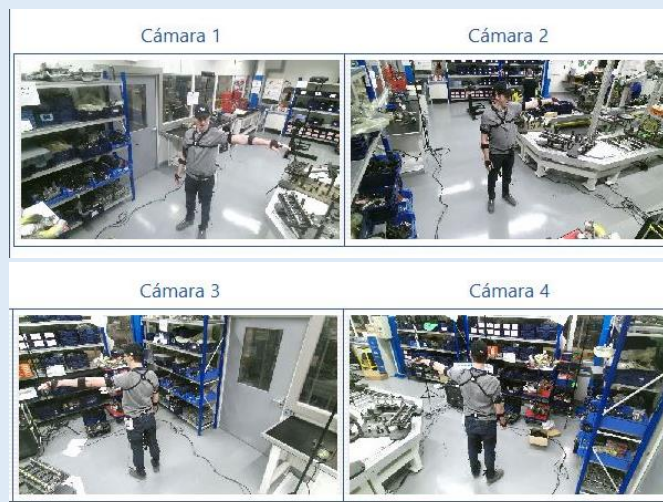


### Cámaras Kinect

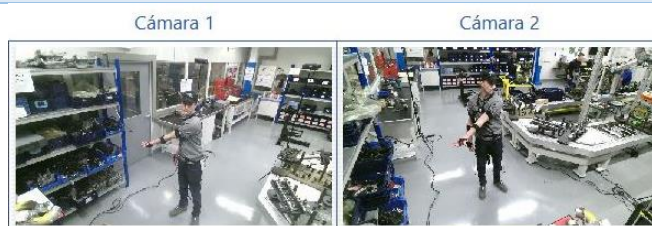
Detectan ambos movimientos, con más problemas en la aducción

### Sensores inerciales

Debería de dar unos datos muy fiables ya que la abducción y la aducción son unos movimientos muy marcados, pero no es así.

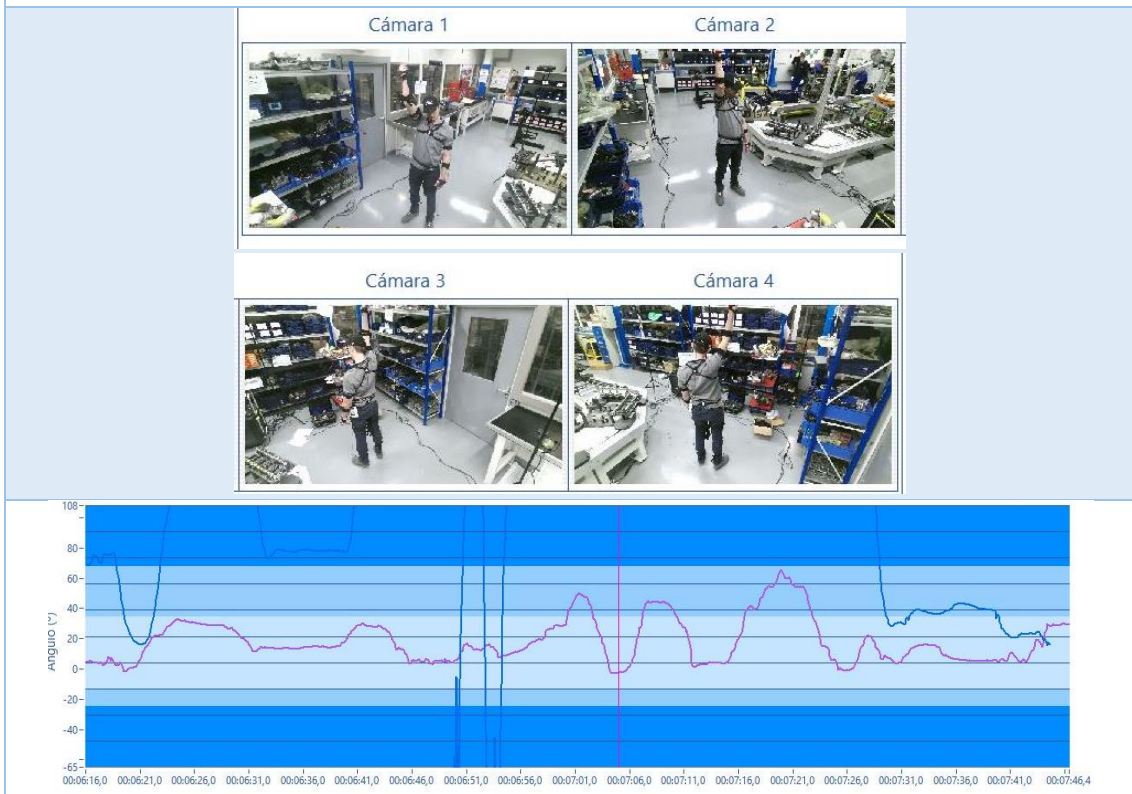


En una posición de 90° los sensores no llegan a ese valor, y simplemente con la rotación de la muñeca, varían los resultados obtenidos.





Los sensores no son capaces de detectar el movimiento de aducción.  
 Con el simple giro de la muñeca, nos indica un movimiento de abducción.  
 Mas fialidad de las cámaras.



Con el brazo hacia arriba y un movimiento de muñeca, los sensores detectan abducción y aducción en función de la posición de la muñeca.

### 3.1.3 Problemas / errores detectados tras prueba línea simulada

Es evidente que, al ser dos sistemas de captación distintos, hay matices (variaciones de ángulos), que no podemos considerar como errores, pero sí que se han detectado errores que provocan una captación de datos incorrecta.

1. Al situarse de perfil o de espaldas, las cámaras no son capaces de obtener datos correctos.
2. Las diferencias más importantes a tener en cuenta son las que se obtienen debido a los movimientos de los hombros.

En los hombros la flexión está limitada con los sensores, así como los movimientos de abducción y aducción. La explicación del proveedor a esto es que esta limitación es debida a que las posiciones de los sensores de los brazos son fijos y no se pueden mover para realizar movimientos puro.

La siguiente explicación pretende describir de la manera más ilustrativa posible la causa de esta limitación.

Pensando que el sensor se sitúa en el brazo izquierdo, con la zona naranja (parte del dibujo hacia fuera del cuerpo), correspondiendo la zona amarilla hacia la zona de la espalda y la zona verde hacia la zona de la cabeza.

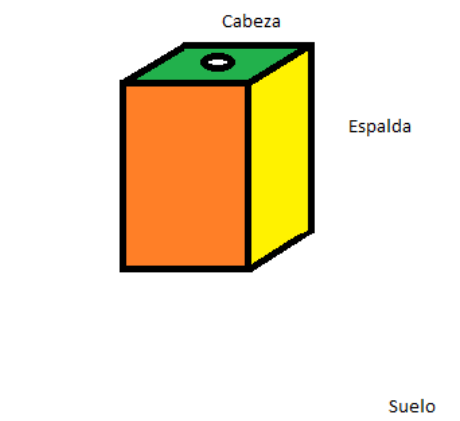


ILUSTRACIÓN 36. ESQUEMA POSICIÓN INICIAL SENSOR

**El movimiento de flexión** se marcaría en 90° si la zona amarilla está paralela al suelo, y la zona verde, lógicamente perpendicular al suelo.

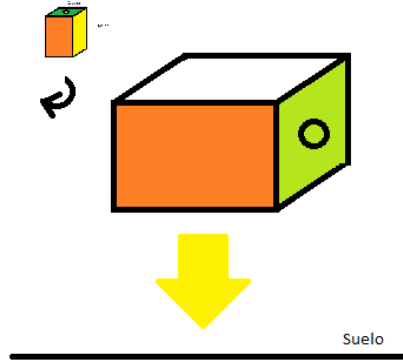


ILUSTRACIÓN 37. ESQUEMA MOVIMIENTO FLEXIÓN PURA SENSOR

**El movimiento de extensión** se marcaría en 90° si la zona amarilla está paralela al suelo, y la zona verde, lógicamente perpendicular al suelo.

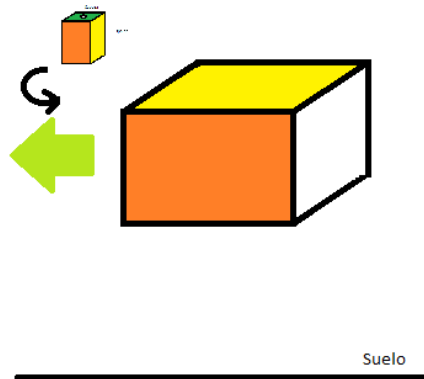


ILUSTRACIÓN 38. ESQUEMA MOVIMIENTO EXTENSIÓN PURA SENSOR

**El movimiento de abducción** en 90° se marcaría con el naranja paralelo al suelo, y el amarillo hacia la espalda, y el verde hacia el cuerpo

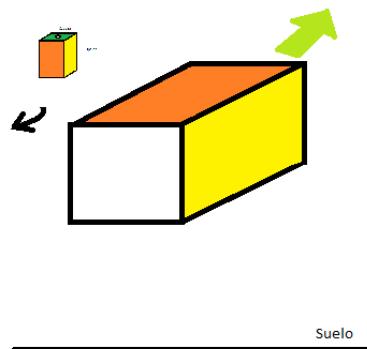


ILUSTRACIÓN 39. ESQUEMA MOVIMIENTO ABDUCCIÓN PURA SENSOR

**El movimiento de aducción** en 90° se marcaría con el naranja paralelo al suelo, el amarillo hacia la espalda, y el verde hacia fuera del cuerpo.



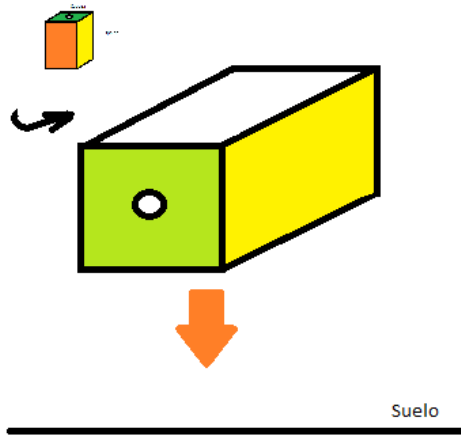


ILUSTRACIÓN 40. ESQUEMA MOVIMIENTO ADUCCIÓN PURA SENSOR

#### 3.1.4 Informes de resultados del análisis en línea real.

Tras las pruebas realizadas de manera aislada, se procedió a hacer una observación de los resultados de los sensores y las cámaras en una operación (muy simple) de la línea de montaje, con el fin de estudiar el comportamiento de ambos sistemas de adquisición de datos.

Estos informes siguen la estructura utilizada en los informes del análisis en la línea simulada, y anteriormente descrita en el apartado 3.1.1.

## NECK LATERAL BEND

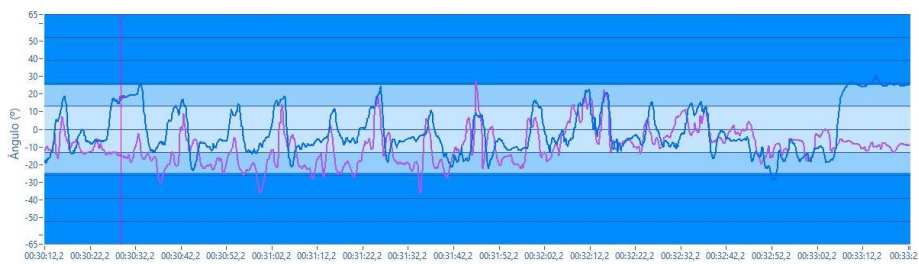


### Cámaras Kinect

Las cámaras Kinect dan la sensación de que no alcanzan los ángulos límites. Con un ligero retraso a la hora de representar la gráfica.

### Sensores inerciales

Los sensores inerciales son más precisos en este tipo de movimiento al estar determinado por la posición del sensor situado en la cabeza, con lo cual es crítica su correcta colocación.



Al estar de perfil, las cámaras no son fiables.

Se observa que la tendencia de seguimiento se corresponde, pero está lejos de representar los mismos valores para el mismo movimiento, rara vez coinciden.

## NECK FLEXION / EXTENSION

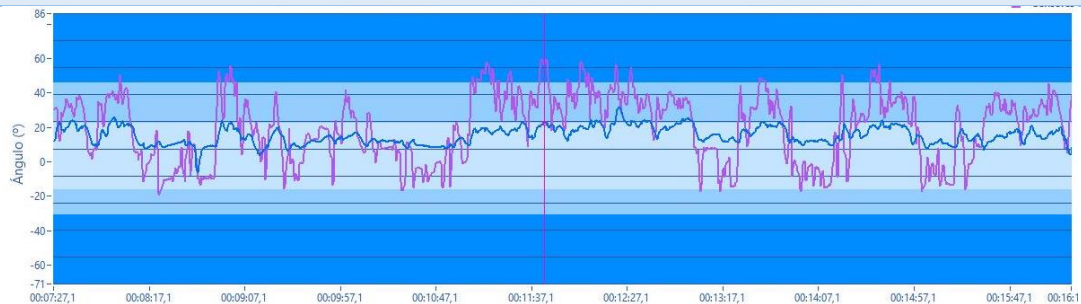
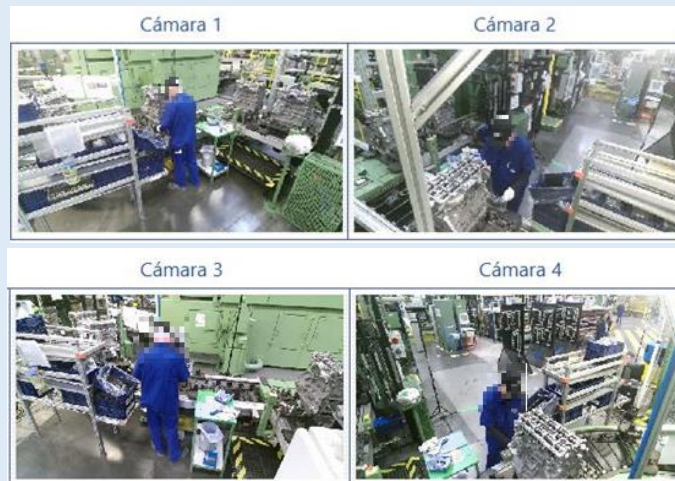


### Cámaras Kinect

Dan una buena respuesta ante el movimiento de flexión, pero no para el de extensión. Ligero retraso temporal.

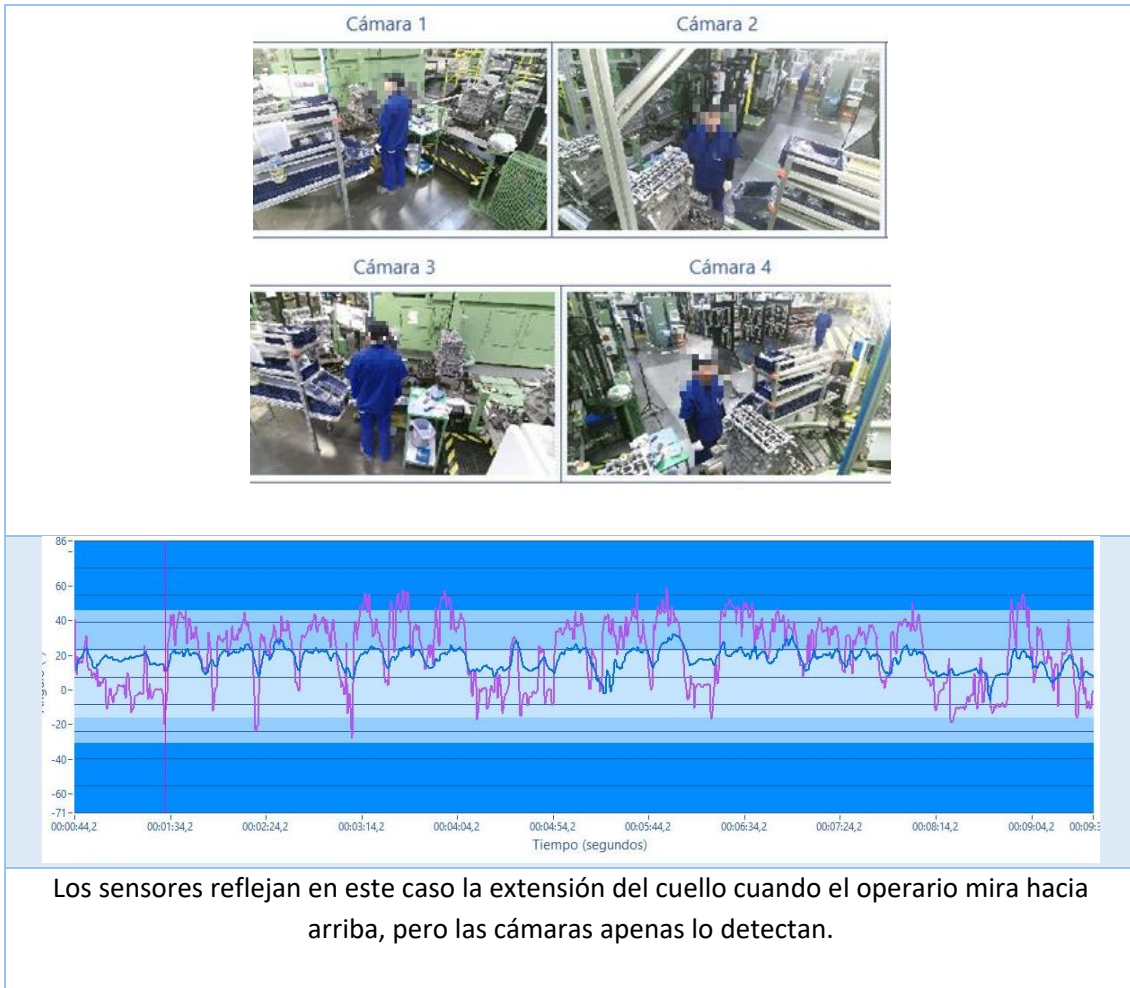
### Sensores inerciales

Dan una buena respuesta para ambos movimientos

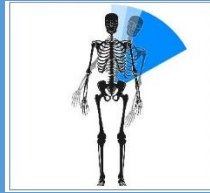


Los sensores obtienen una respuesta mucho más sensible que la de las cámaras, parece que la detección que hace es buena.

Los resultados que se obtienen de las cámaras y los sensores tienen la misma tendencia, es decir, cuando las cámaras marcan que sube la flexión, se aprecia mucho más con los sensores.



## LATERAL BACK BEND

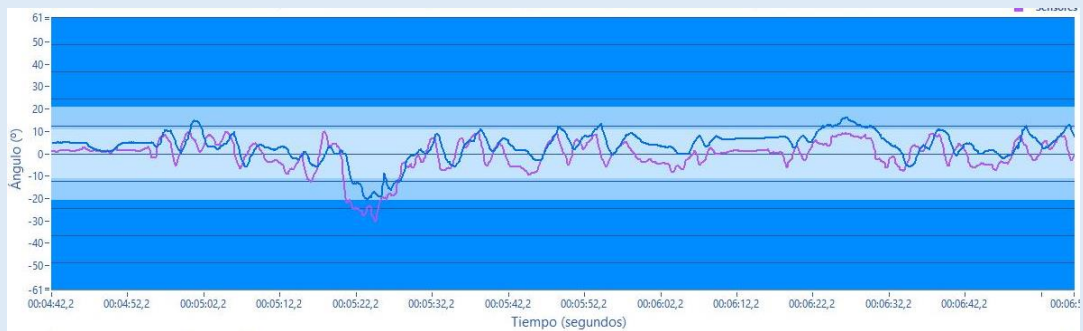


### Cámaras Kinect

Dan una buena respuesta ante el movimiento de flexión, pero no para el de extensión. Ligero retraso temporal.

### Sensores inerciales

Dan una buena respuesta para ambos movimientos



Son los mejores resultados obtenidos en cuanto a similitud, ya que la respuesta es bastante parecida, aunque en algunos casos hay diferencias de hasta casi  $10^{\circ}$ .

## BACK FLEXION /EXTENSION

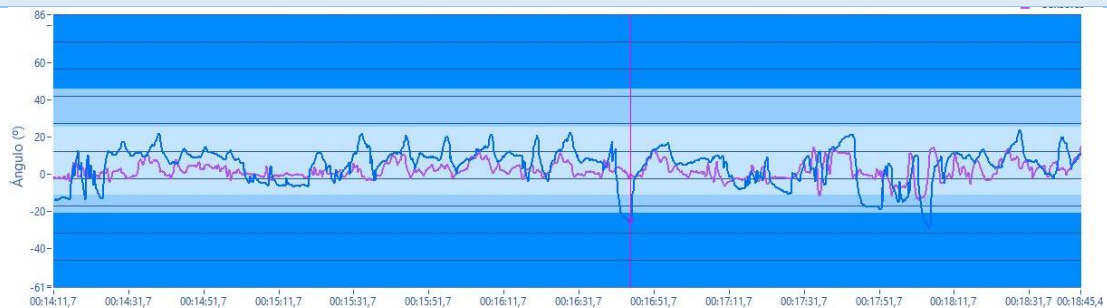
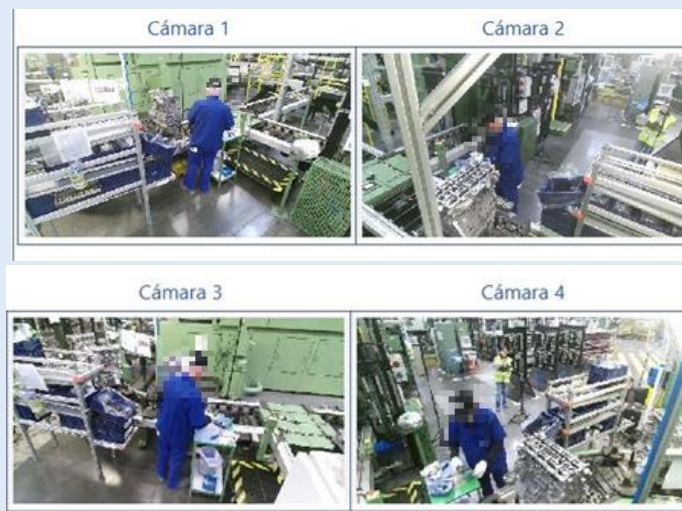


### Cámaras Kinect

Deben detectar bien en principio, al ser un movimiento sencillo.

### Sensores inerciales

Debería de dar unos datos muy fiables ya que la flexión y extensión de la espalda son movimientos muy marcados.



Los sensores son fiables en este tipo de movimientos (al menos visualmente), siendo las cámaras menos fiables al generar picos en algunos momentos que habría que desechar.

## BACK ROTATION

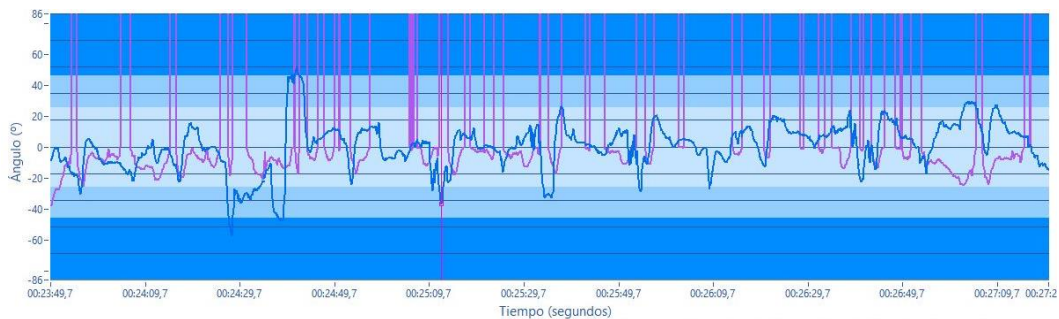
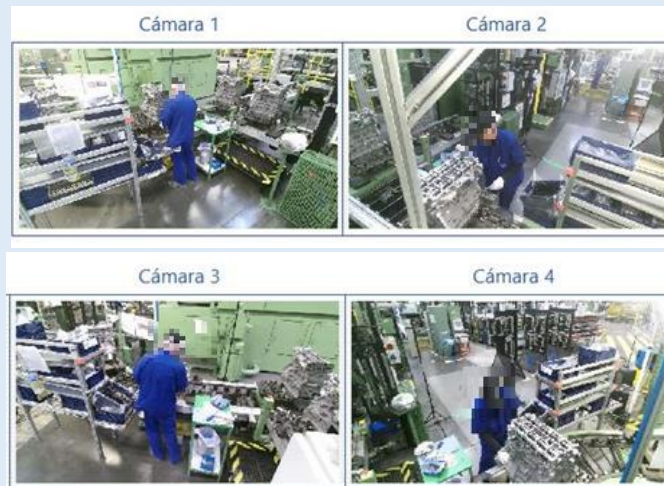


### Cámaras Kinect

Sabemos que de perfil, las cámaras tienen un funcionamiento malo, con lo que lo más probable es que se pierda la señal.

### Sensores inerciales

Debería de dar unos datos muy fiables ya que la rotación de la espalda es un movimiento muy marcado.



Los sensores están continuamente generando una señal de rotación de tronco que no es real, y las cámaras, tampoco son fiables en este aspecto.

## SHOULDER FLEXION / EXTENSION (RIGHT AND LEFT)



### Cámaras Kinect

En las pruebas realizadas anteriormente detectan bien la flexión, teniendo problemas en la extensión.

### Sensores inerciales

En principio deberían de presentar unos datos fiables ante movimientos tan sencillos.

Cámara 1



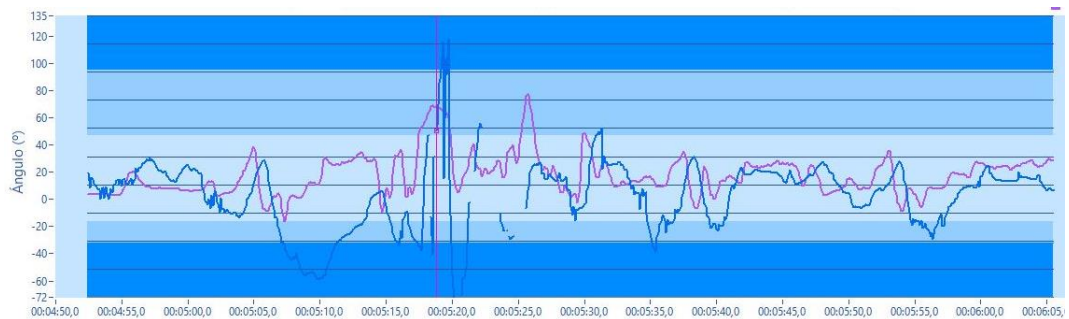
Cámara 2



Cámara 3



Cámara 4



Buena detección de la flexión por parte de los sensores, las cámaras al estar de perfil pierden la señal por lo que no nos sirve

Cámara 1



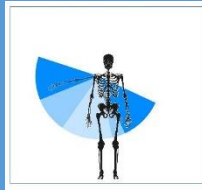
Cámara 2







## SHOULDER ADDUCTION / ABDUCTION (RIGHT AND LEFT)

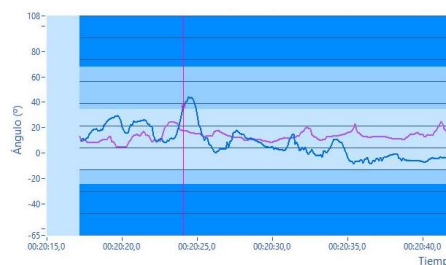


### Cámaras Kinect

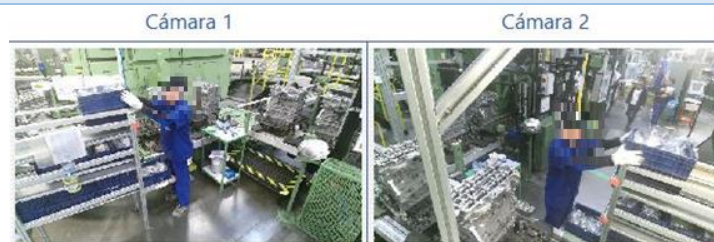
Detectan ambos movimientos, con más problemas en la aducción

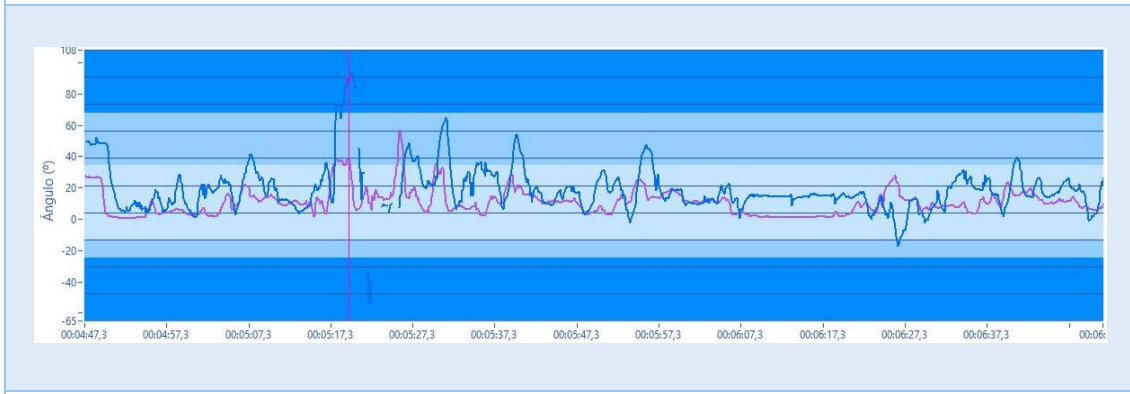
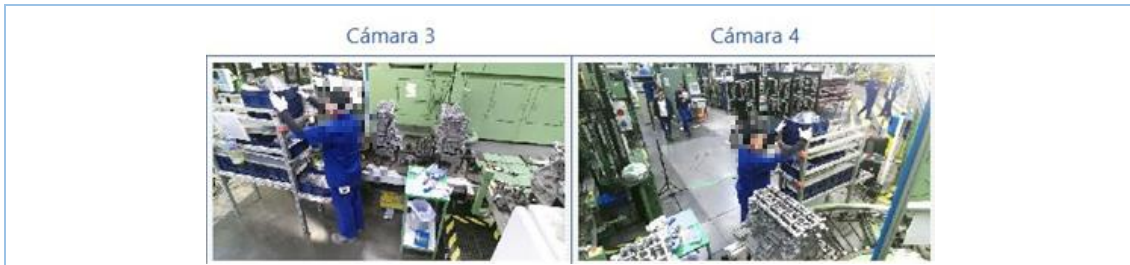
### Sensores inerciales

Debería de dar unos datos muy fiables ya que la abducción y la aducción son unos movimientos muy marcados, pero no es así.



Los resultados que nos muestran las cámaras, siendo casi de 45°, podríamos darlo por bueno al acercarse bastante a la realidad. Los sensores (como se observó en las pruebas fuera de línea, no tienen ningún tipo de validez.





Este movimiento que es claramente de flexión, refleja, con los sensores, que existe algo de abducción, algo que podría ser cierto, pero que no le podemos dar validez al haber demostrado que los sensores no son fiables en este movimiento.  
Las cámaras no son fiables, al estar el operario de perfil.

### 3.1.5 Problemas / errores detectados tras prueba línea real.

Se confirman los problemas que se habían observado de manera aislada, y se añaden los problemas de:

1. Descalibración con el paso del tiempo.

Observando la recreación del esqueleto al inicio y al final de la grabación, todo parece indicar una descalibración de los sensores tanto en piernas como en manos.

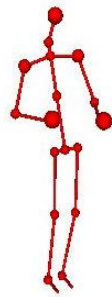
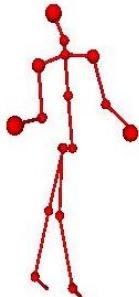






GRUPO	INICIO	FINAL	IMÁGENES
MANOS			 
PIERNAS			 

TABLA 5. TABLA PROBLEMA DESCALIBRACIÓN

2. Problemas a la hora de realizar los ensayos, debido a la conexión y desconexión bluetooth que se ve afectada al igual que los sensores por estar en un entorno bastante metálico.
3. Problemas a la hora de realizar los ensayos, debido al agotamiento de las pilas que recogen datos de sensores inerciales y los transfieren a la ErgoStation.

### 3.2 Implantación para la fabricación del nuevo motor

Dada la importancia que da Ford Motor Company a la seguridad y salud de los empleados, no es de extrañar la intención de desarrollar este tipo de herramientas, y la prioridad absoluta de que todos los puestos manuales estén validados ergonómicamente con el fin de conocer los riesgos potenciales y minimizarlos o eliminarlos en caso de que sea posible.

Es por ello, que, con la llegada a la producción de un nuevo motor, es normal se hayan producido cambios en los puestos y sea necesario realizar validaciones ergonómicas de aquellos puestos nuevos o aquellos en el que el proceso de montaje ha variado para adaptarse al nuevo motor.

#### 3.2.1 Metodología para el análisis con la ErgoStation

Antes de realizar cualquier análisis con la ErgoStation, siempre es necesario obtener la autorización del operario que va a ser grabado, y que quede constancia de que accede a participar en la grabación y/o toma de imágenes para la elaboración de material audiovisual que será utilizado para realizar un estudio de ergonómico para la evaluación de puestos manuales dentro del marco de Seguridad y Prevención de Riesgos Laborales, cediendo los derechos de imagen sin ningún tipo de retribución.

Una vez obtenido el permiso e instalada la ErgoStation, se procede a la adquisición de datos, tal y como se explica en el manual de uso de la ErgoStation (situado en el apartado anexos), **dicho manual ha sido desarrollado por el autor del presente TFM.**

Usando los datos que nos proporciona la ErgoStation, el siguiente paso, es analizar los datos e imágenes obtenidas, y para hacer más sencillo este análisis se han desarrollado varias hojas Excel que facilitan la selección y el filtrado de datos, así como datos relevantes como el porcentaje de tiempo en las diferentes zonas en el tipo de movimiento seleccionado.

El primer Excel “Porcentajes de tiempo por movimiento”, permite, conociendo los tiempos de grabación de cuando hay motor, y que operario hay, apuntar esos tiempos, y calcula automáticamente el tiempo global de cada operario. Dentro de ese Excel, hay una hoja llamada “Tiempos en posición”, donde se pueden introducir los tiempos en cada posición según el tramo y la zona, y obtener el porcentaje de tiempo de un grupo muscular en una determinada zona.



El otro Excel creado, es para obtener el Sue Rodgers acumulando diferentes tramos. La metodología de trabajo con este Excel es copiar la información Sue Rodgers del Excel exportado desde el software de la ErgoStation, y este calculará la media y la mediana de las prioridades de cada movimiento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC			
	Parte del Cuerpo	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	Nivel de Estrés	Duración (s)	Estrés (RPN)	Prioridad (nivel)	Prioridad (RPN)	
Neck	Lateral Neck Bend				0																											
	Neck Flexion				0																											
	Neck Extension				0																											
Back	Lateral Back Bend				0																											
	Back Flexion				0																											
	Back Extension				0																											
	Back Rotation				0																											
Shoulder	Right Shoulder Flexion				0																											
	Right Shoulder Extension				0																											
	Right Shoulder Abduction				0																											
	Right Shoulder Adduction				0																											
	Left Shoulder Flexion				0																											
	Left Shoulder Extension				0																											
	Left Shoulder Abduction				0																											
	Left Shoulder Adduction				0																											

ILUSTRACIÓN 44. EXCEL CONJUNTO SUE RODGERS VARIOS TRAMOS

	A	B	C	D	E
	Parte del Cuerpo	Operario 1	Operario 2	Operario 3	
Neck	Lateral Neck Bend	5	3	0	
	Neck Flexion	3	2	0	
	Neck Extension	0	1	0	
Back	Lateral Back Bend	8	2	0	
	Back Flexion	3	2	0	
	Back Extension	8	8	0	
	Back Rotation	2	2	0	
Shoulder	Right Shoulder Flexion	8	5	0	
	Right Shoulder Extension	3	8	0	
	Right Shoulder Abduction	8	8	0	
	Right Shoulder Adduction	1	2	0	
	Left Shoulder Flexion	3	6	0	
	Left Shoulder Extension	2	0	0	
	Left Shoulder Abduction	2	3	0	
	Left Shoulder Adduction	8	6	0	

ILUSTRACIÓN 45. EXCEL RESUMEN MEDIANAS SUE RODGERS POR OPERARIO

(\*) En el manual de uso está explicado también como el software obtiene los valores del Sue Rodgers ErgoStation.

### **3.2.2 Estructura del informe de análisis ErgoStation de un puesto manual.**

Dado que la herramienta es nueva, no existe un estándar o formato que seguir en el análisis con la ErgoStation, por lo que se ha tenido que desarrollar durante los primeros análisis, quedando una estructura base como la siguiente:

1. Planteamiento del problema: Explicación del motivo de la instalación de la ErgoStation, así como el número de estación y día, y el tipo de sistema de adquisición de datos utilizado (Kinect, sensores o ambos).
2. Descripción de la operación: Donde se reflejan las características de la operación, indicando las alturas de trabajo y las tareas a realizar, así como si se dispone de plataforma y/o alfombra antifatiga.
3. Evaluación ergonómica inicial: En el caso de existir, indica la prioridad de cambio usando el análisis Sue Rodgers.
  - a. Acciones realizadas tras la evaluación inicial: En el caso de haber tomado alguna medida para mejorar la severidad del puesto
4. Resultados con ErgoStation: Se reflejan los criterios de ángulos utilizados, y el resultado del Sue Rodgers (obtenido del programa y tras el filtro y selección hecha con los documentos Excel desarrollados), así como el análisis detallado de los grupos musculares que hayan salido con una severidad mayor de 5. En este análisis detallado se reflejará también el porcentaje de tiempo que el operario analizado ha pasado en esa zona de trabajo.
5. Conclusiones: Donde se representa el espacio de trabajo óptimo y se indica si se trabaja dentro del rango establecido.
6. Propuestas: Apartado en el que se reflejaran las propuestas realizadas para mejorar ergonómicamente el puesto si fuese necesario.

### **3.2.3 Proceso y timing seguido para el análisis de cada operación.**

El mapa ergonómico previo a realizar los informes y la validación ergonómica de los puestos manuales es el reflejado en el apartado 2.4.3 (Mapa para la llegada del nuevo motor previo a la evaluación ergonómica), en el que figuran las estaciones de trabajo que requieren una nueva validación.

Para validar los puestos se ha planificado desde la primera semana de enero la colocación de la ErgoStation, que se ha debido de ir actualizando mes a mes debido a la variación temporal de las pruebas y rodadas del nuevo motor en el tiempo.

El plan finalmente desarrollado ha sido el siguiente:



**Plan de colocación de equipo: Análisis ErgoStation semana 21**

Leyenda:

- Planificado
- Tras observación, necesario repetir adquisición de datos
- Realizada adquisición de datos
- Informe acabado

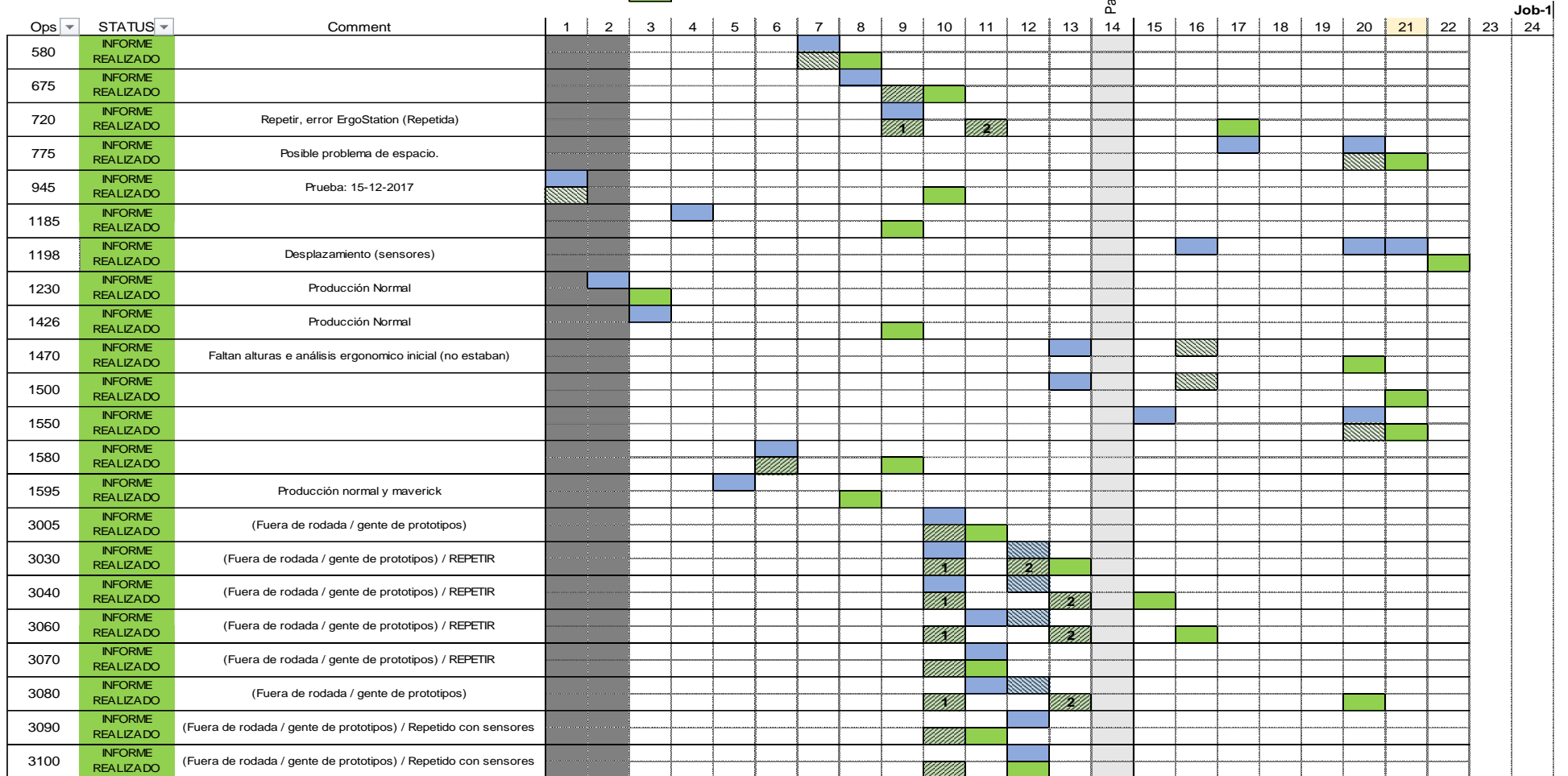


ILUSTRACIÓN 46. CRONOGRAMA TIMMING IMPLANTACIÓN ERGOSTATION

### **3.2.4 Análisis tras el nuevo motor e informe ejemplo de un puesto de trabajo**

Debido a la extensión de la mayoría de los informes, simplemente se va a reflejar un ejemplo de informe. El resto de los informes no se reflejan al contener información confidencial que definen el proceso de montaje de motor, así como las características de la estación e imágenes que definirían la estación.

Los informes están numerados según el número de operación que corresponde en la línea de montaje.

El ejemplo situado en la parte anexos 8.2 es el informe de la operación 1595. La información confidencial está tapada y no es posible acceder a ella.

# INFORME ERGONÓMICO

## 3.2.5 Problemas / errores detectados tras el análisis de los puestos con la ErgoStation

Una vez se recogen los datos de cada estación, se procede analizarlos y a realizar el informe de cada estación. De manera resumida se reflejan los problemas detectados en los diferentes puestos para posteriormente darle una posible solución (en el apartado 3.3 “Propuestas de soluciones”).

Se ha dividido el resumen en dos tablas, la primera de ellas refleja las operaciones de la línea de montaje motor por la que pasan todos los motores (sean o no, el nuevo motor), mientras que en la segunda se refleja el lazo 3000 que es una ramificación única para el nuevo motor.

Operación	Problemas detectados
580	Severidad alta en los movimientos que implican usar filtros del nuevo motor debido al alcance, así como el retorno de cajas vacías debido a su altura
675	Rango de alturas de trabajo amplio, trabajando tanto en la parte superior como inferior del motor, pudiendo provocar excesivos movimientos de flexión del hombro o de espalda. Dependiente de la altura del operario.
720	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
775	Rango de alturas de trabajo amplio, trabajando tanto en la parte superior como inferior del motor, pudiendo provocar excesivos movimientos de flexión del hombro o de espalda. Dependiente de la altura del operario.
945	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1185	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1198	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1230	Trabajo sobre la parte superior del motor, con problemas de altura para los operarios de menor talla.
1426	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1470	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1500	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1550	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
1580	La silla que hay actualmente, aumenta la severidad del puesto en las tareas de los motores actuales; y en las tareas del nuevo motor, es necesario revisar si existen problemas de flexión y abducción de hombros al trabajar en la parte superior del motor.
1595	Se produce una abducción excesiva al acceder al bebedero izquierdo del operario.

TABLA 6. TABLA DE PROBLEMAS DETECTADOS EN LA LÍNEA DE MONTAJE

Operación	Problemas detectados
<b>3005</b>	Movimiento extra, al no seguir el proceso de precargado del tornillo que hace aumentar la severidad del movimiento de abducción. Flexión y lateralización de la espalda al acceder a los colectores del nivel inferior (3 veces de cada 9)
<b>3030</b>	Movimientos laterales del cuello y de la espalda pronunciados. Se sospecha que es por la falta de experiencia del product specialist.
<b>3040</b>	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
<b>3060</b>	Problemas detectados en la espalda.
<b>3070</b>	Movimiento del cuello algo pronunciado, en principio se piensa que es debido a la inexperiencia en el puesto.
<b>3080</b>	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.
<b>3090</b>	Problemas en cuello, espalda y hombros debido a la aparatosidad de la herramienta que dificulta la visibilidad.
<b>3100</b>	La estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.

TABLA 7. TABLA DE PROBLEMAS DETECTADOS EN EL LAZO 3000 (ZONA EXCLUSIVA NUEVO MOTOR)

### 3.3 Soluciones propuestas

Tanto en el funcionamiento de la ErgoStation, como en la línea de montaje, se han propuestos diferentes soluciones para un mejor funcionamiento de la ErgoStation, y para una mejora ergonómica en los puestos de trabajo respectivamente.

#### 3.3.1 Propuestas sobre la ErgoStation:

Sobre los errores detectados en la captación de datos:

	Problema	Solución propuesta	Implantada / No implantada
1	Detección errónea con las cámaras cuando se el operario se sitúa de perfil o de espaldas.	Utilizar el sensor de color (RGB) de las cámaras para, situando dos marcadores circulares de distinto color en el pecho y a la espalda, detectar en que orientación se ha situado el operario, e ir actualizando cuales son las cámaras frontales y traseras, para así obtener una mejor recreación del esqueleto en cualquier posición, y obtener ángulos de manera correcta.	NO ha sido posible ya que requerirían un nuevo desarrollo por parte de la empresa desarrolladora de la ErgoStation, esto es considerado un nuevo proyecto e implicaría un nuevo desembolso económico; por lo que por el momento estos problemas se subsanarán mediante la observación.
2	Detección con los sensores limitada en los movimientos de los hombros.	Utilizar la recreación del esqueleto (realizada con posiciones absolutas de los sensores), para calcular a partir de ese esqueleto los ángulos formados, y no utilizar los mismos cálculos que se utilizan con las cámaras.	NO ha sido posible ya que requerirían un nuevo desarrollo por parte de la empresa desarrolladora de la ErgoStation, esto es considerado un nuevo proyecto e implicaría un nuevo desembolso económico; por lo que por el momento estos problemas se subsanarán mediante la observación.

3	Descalibración	Actualizar la tecnología inercial a la nueva versión de sensores de TechNaid, que asegura un perfecto aislamiento a las interferencias metálicas.	NO ha sido posible debido a la cuantiosa inversión que supone la tecnología inercial y por el momento no se plantea esa opción. Subsanándose mediante la observación y nueva calibración.
4	Conexión Desconexión bluetooth	Cuando sea posible, realizar la adquisición de datos conectando el Hub a la ErgoStation, ya que no se ha encontrado solución a mejorar la conexión bluetooth.	Implantado
5	Duración de las pilas	Cuando sea posible, conectar a la red de alimentación. Adquirir pilas recargables de 4000mAh y usarlas en lugar de las actuales de 1500mAh.	Implantado

TABLA 8. TABLA RESUMEN ERRORES DURANTE LA CAPTACIÓN DE DATOS

Sobre los errores detectados en el software a la hora de realizar los informes:

Error	Razón	Solución adoptada
Problemas en las gráficas al cambiar de grupo muscular	Al cambiar de un grupo muscular a otro los límites coloreados que determinan las zonas no varían si no que se mantienen con lo que no son gráficas correctas.	Se comunicó y se modificó el programa para que esto no ocurriese. Solucionado con éxito.
Problemas en las gráficas al cambiar de grupo muscular en la línea de tiempo	Al cambiar de grupo muscular dentro del mismo ensayo, no se mantiene en el punto temporal en el que estabas si no que se reinicia.	Se comunicó y se modificó el programa para que esto no ocurriese. Solucionado con éxito. Ahora es posible estar observando la imagen y cambiar de grupo muscular para observarlo sin variar el tiempo en el que se está observando.

TABLA 9. TABLA RESUMEN ERRORES DURANTE LA REALIZACIÓN DE INFORMES

Mejoras propuestas para optimizar el uso del software:

Deseo	Razón	Solución adoptada
Incorporar "descriptores" con los que clasificar el tramo	Mejorar las posibilidades de filtro mediante estos descriptores.	Idea a considerar; incluye un nuevo desarrollo por lo que, de momento, no se ha decidido abordarlo.
Incorporar conexión con datos de línea para identificar tipo de motor y operario que trabaja.	Mejorar las posibilidades de filtro automatizando esta información a la grabación en curso, para poder observar y/o calcular severidades de movimientos filtrándolo por tipo de motor (diferente proceso) u operario que trabaja (individualizar el estudio).	Idea a considerar; incluye un nuevo desarrollo por lo que, de momento, no se ha decidido abordarlo.
Elegir los tramos y combinarlos.	Seleccionar tramos y realizar el cálculo Sue Rodgers de manera automática.	Idea a considerar; incluye un nuevo desarrollo por lo que, de momento, no se ha decidido abordarlo.
Exportar datos de ángulos a Excel	Poder acceder a los datos de manera más precisa y poder estudiar velocidades, aceleraciones, etc.	Se comunicó y se incorporó la opción de exportar los datos de la gráfica que se está visualizando junto con los tiempos a un archivo Excel.
Simplificar el hardware	Facilitar el transporte y montaje	Virtualización. Explicado en punto 3.4


TABLA 10. TABLA DE MEJORAS PROPUESTAS PARA MEJORAR EL USO DEL SOFTWARE

### 3.3.2 Propuestas sobre la línea de montaje:

A continuación, se presenta en forma de tabla las operaciones con las propuestas de mejora y la solución adoptada finalmente. No todas las soluciones ha sido posible implantarlas ya que ciertas soluciones requieren permisos y aprobaciones de rango superior. En la última columna se refleja la valoración Sue Rodgers final (análisis Ergonómico estándar de Ford) que obtiene el puesto, validando así el 100% de los puestos.

Se han separado las operaciones del lazo 3000 al ser una rama de la línea exclusiva para el nuevo motor.

Operaciones de la línea de montaje (sin incluir lazo 3000)

OP	Propuesta	Solución adoptada	SR
580	Unificar los filtros y así eliminar niveles de suministro y retorno. Automatizar la estación con un COBOT.	Se unificaron los filtros, eliminando así niveles, modificando la altura del retorno. Posteriormente se ha instalado el cobot que monta el filtro. 	3
675	Intentar disminuir el rango de alturas en el que se trabaja, sobre todo para disminuir la flexión de los hombros, para ello se propone disminuir la longitud de la boquilla de la herramienta.	Pendiente de valoración por parte de rango superior.	2
720	La estación no presenta severidad ergonómica alta por lo que no se realizan propuestas.	Ergonómicamente OK	2
775	Plataforma regulable para intentar disminuir el rango de alturas en el que se trabaja, sobre todo para disminuir la flexión de la espalda al dejar material en la paleta.	Pendiente de valoración por parte de rango superior. Difícil implantación de una plataforma regulable.	1
945	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	1
1185	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1198	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1230	Incluir plataforma regulable para los operarios de menor altura. (*) Se está desarrollando un proyecto para mejorar las alturas de suministro en la rampa, con lo	Finalmente se implementó la mejora en el suministro y se subió la plataforma 10 cm, con lo que mejora la ergonomía para los operarios de mejor talla, sin penalizar a los más altos.	2



	que podríamos elevar la plataforma fija 10 cm para todos los operarios porque podríamos subir también 10 cm la altura de las cajas de suministro por lo que no penalizaríamos a los operarios más altos en el agarre de las piezas.		
1426	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1470	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1500	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1550	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
1580	Eliminar la silla del puesto, ya que se ha comprobado que lo único que hace es aumentar la severidad del puesto en grupos musculares como hombro y cuello.	Se mandó propuesta para eliminar la silla del puesto, pero requiere de revisión por parte de rango superior y de los sindicatos.	2
1595	Disminuir la altura de los bebederos del lazo izquierdo del operario 10 cm para disminuir la severidad en el movimiento de abducción.	Se ha bajado el bebedero 10 cm.	2

TABLA 11. TABLA DE OPERACIONES Y SUS PROPUESTAS.

Operaciones del lazo 3000:

OP	Propuesta	Solución adoptada	SR
3005	Recordar y recomendar que se siga el proceso estándar de precarga del tornillo. Recordar y recomendar extraer la bandeja de los colectores del nivel inferior del suministro.	Se acordó realizar los recordatorios pertinentes durante las formaciones en el proceso de montaje de esta estación.	1
3030	Se recomienda realizar un nuevo análisis con producción real.	Previsión de realización del análisis en producción real.	2
3040	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
3060	Analizar si con el cambio de proceso que se implantará se mejora el tiempo del operario en el movimiento lateral del cuello.	Se mejoró el tiempo en ese movimiento, con lo que no se realizaron más propuestas.	2
3070	Vigilar el movimiento del cuello durante la producción real, ya que se piensa que es un problema de destreza.	Pendiente de la producción real.	2
3080	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	2
3090	Rediseñar o cambiar la herramienta con la que se trabaja en la estación. A parte del informe ErgoStation , también sale una prioridad de	Se cambia la herramienta por otra más sencilla que no requiere fuerza lateral del operario y mejora la visibilidad.	3

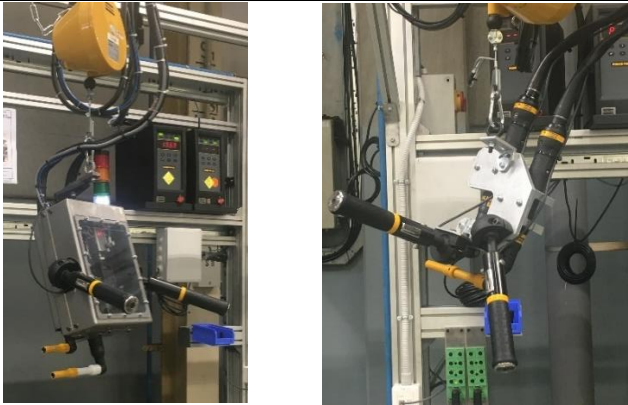
	cambio 8 en el Sue Rodgers.		
3100	No se realizan propuestas al concluir que la estación está optimizada ergonómicamente dentro del rango establecido.	Ergonómicamente OK	1

TABLA 12. TABLA DE OPERACIONES Y SUS PROPUESTAS DE MEJORA EN EL LAZO 3000.

Tras las propuestas y evaluaciones ergonómicas (tanto ErgoStation, como estándar Ford) el mapa ergonómico de la línea de montaje queda de la siguiente forma:

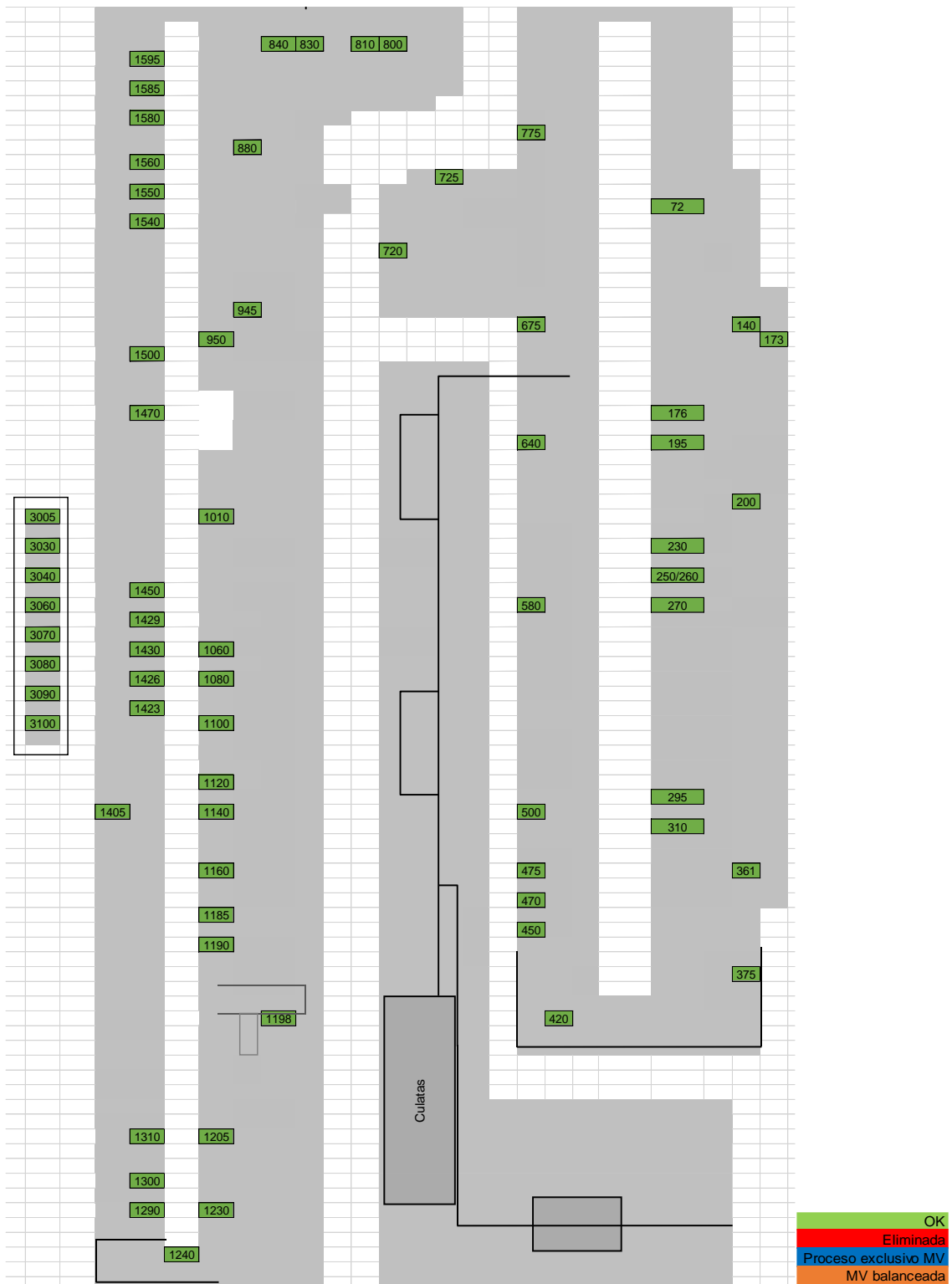


ILUSTRACIÓN 47. MAPA ERGONÓMICO TRAS EVALUACIONES Y ACCIONES REALIZADAS. TODOS LOS PUESTOS OK.

### 3.4 Simplificación del Hardware - ErgoStation 3.0 (virtualización).

Uno de los objetivos del proyecto era simplificar el hardware de la ErgoStation. Es por ello, que se ha desarrollado, hasta el límite tecnológico posible, la versión 3.0 de la ErgoStation, cuyo reduciendo el tamaño del hardware hasta incorporarlo todo a un único PC haciendo funcionar una cámara Kinect junto con los sensores inerciales.

Como ya se ha comentado en el apartado 2.5.1, cada cámara Kinect necesita de un PC exclusivo para poder funcionar, no es posible conectar dos Kinect (V2) a un único ordenador.

Esta limitación presenta una barrera a la hora de reducir el hardware a un único ordenador.

La solución adoptada ha sido utilizar el VMWare, creando máquinas virtuales de cada uno de los PCs y comunicarlos a través de esta herramienta.

La idea está resumida en el siguiente esquema:

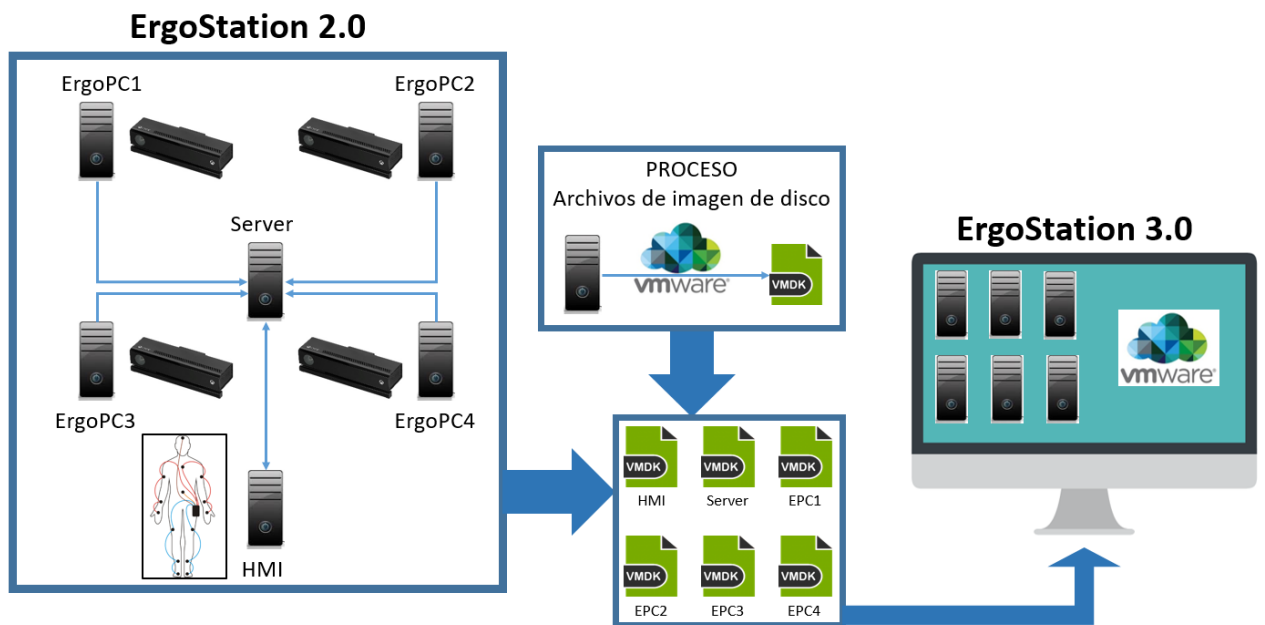


ILUSTRACIÓN 48. ESQUEMA EXPLICATIVO VIRTUALIZACIÓN

#### 3.4.1 Crear archivos de imagen de disco

Antes de iniciar el proceso, es necesario instalar el software VMware Converter Standalone en cada uno de los PCs que componen la ErgoStation 2.0, para posteriormente crear los archivos de imagen de disco (extensión. vdmk) de cada PC. Estas imágenes han sido guardadas en discos duros independientes para evitar posteriormente que el VMware Workstation (programa para hacer funcionar un ordenador dentro de otro como máquina virtual) accediese a un mismo disco duro para hacer funcionar dos o más ordenadores.

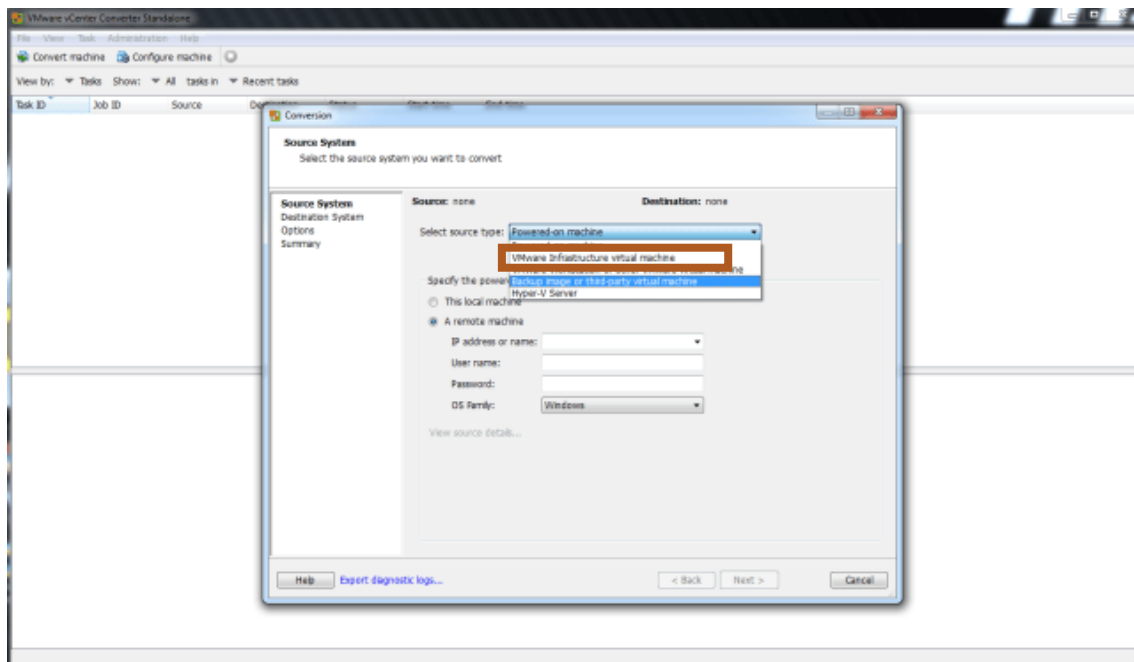


ILUSTRACIÓN 49. CREAR IMAGEN DE PC

Con esta herramienta podemos hacer funcionar como un ordenador independiente cada uno de los PCs en un mismo hardware. Sin embargo, este paso no es suficiente para conseguir la versión 3.0 de la ErgoStation, es necesario realizar una comunicación entre máquinas virtuales.

### 3.4.2 Comunicación de máquinas virtuales

Cada PC de la ErgoStation tiene una dirección IP que debemos conocer para asignárselas en las máquinas virtuales.

El primer paso en esta tarea de comunicar máquinas virtuales ha sido conseguir comunicar el HMI con el Server.

Para ello se ha creado dos networks virtuales en el HMI

1. La primera que actuará como puente (bridged), comunicando la máquina virtual con el PC físico.
2. La segunda que será una red interna para comunicarse con el servidor.

También se ha conectado en el PC Server a la red previamente creada en el HMI.

Sin embargo, esto no es suficiente para comunicar las máquinas virtuales entre sí, es necesario modificar la dirección IP de cada una de las máquinas virtuales, a la que está asignada en cada ErgoPC.

Siendo las direcciones IP de cada uno de los ErgoPCs las siguientes:

PC	Dirección IP
HMI	192.168.0.1
ErgoServer	192.168.0.21
ErgoPC1	192.168.0.11
ErgoPC2	192.168.0.12
ErgoPC3	192.168.0.13
ErgoPC4	192.168.0.14

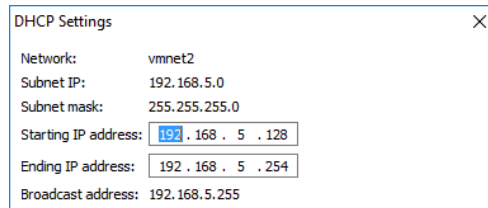


ILUSTRACIÓN 50. ASIGNAR DIRECCIÓN IP

En el caso de estar configurando el HMI, deberíamos de modificarla a 192.168.0.1.

Una vez realizado este paso, se encienden de manera simultánea las dos máquinas virtuales, el HMI situado en el PC físico y el Server situado en un disco duro externo.

Cuando se ambas máquinas virtuales están funcionando, se procede a pulsar el botón conectar del software del HMI (explicado en el manual de uso situado en anexos), consiguiendo que ambas máquinas se vean y estén en comunicación.

En las siguientes imágenes se ve como se ha comunicado el servidor con el HMI.

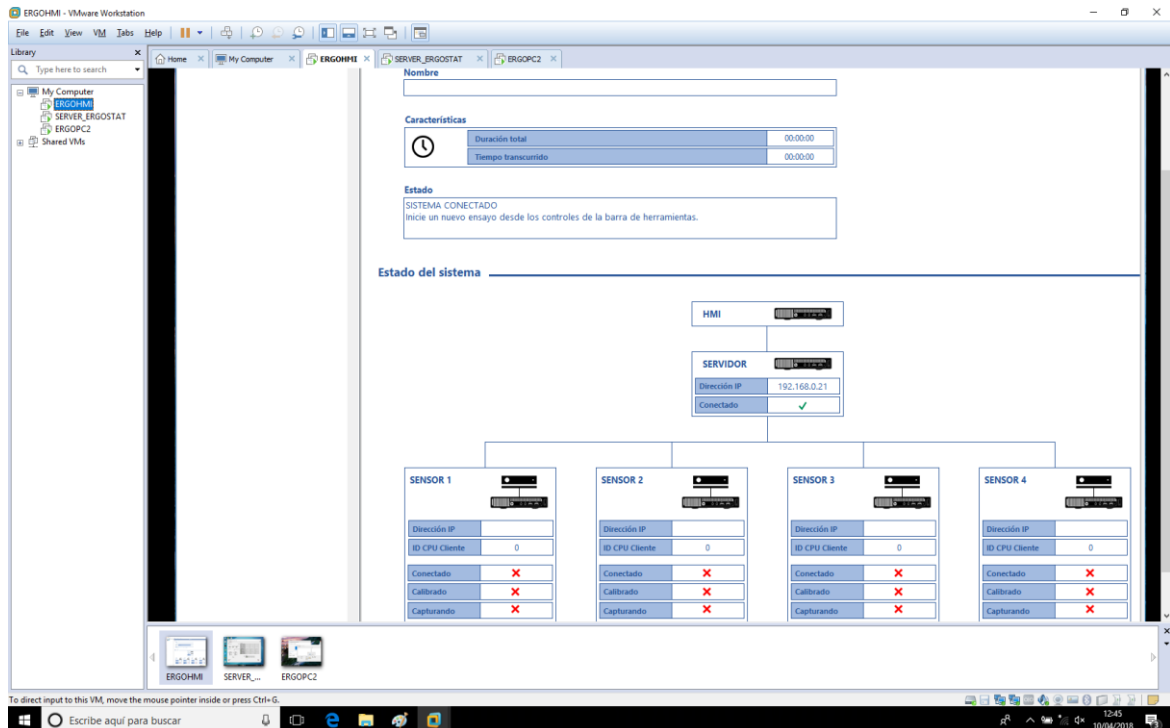


ILUSTRACIÓN 51. HMI FUNCIONANDO EN VMWARE

Una vez conseguido esto, se realizan los mismos pasos con uno de los ErgoPCs que llevan una cámara Kinect conectada. Es necesario que cada red que creamos se añada en el virtual network editor del VMware para que la considere como una red virtual.

Una vez realizado estos pasos, se procede a conectar las máquinas virtuales del HMI, el servidor SERVER y uno de los PCs que van conectados a la cámara Kinect.

Las siguientes imágenes reflejan el conexionado de las tres máquinas virtuales:

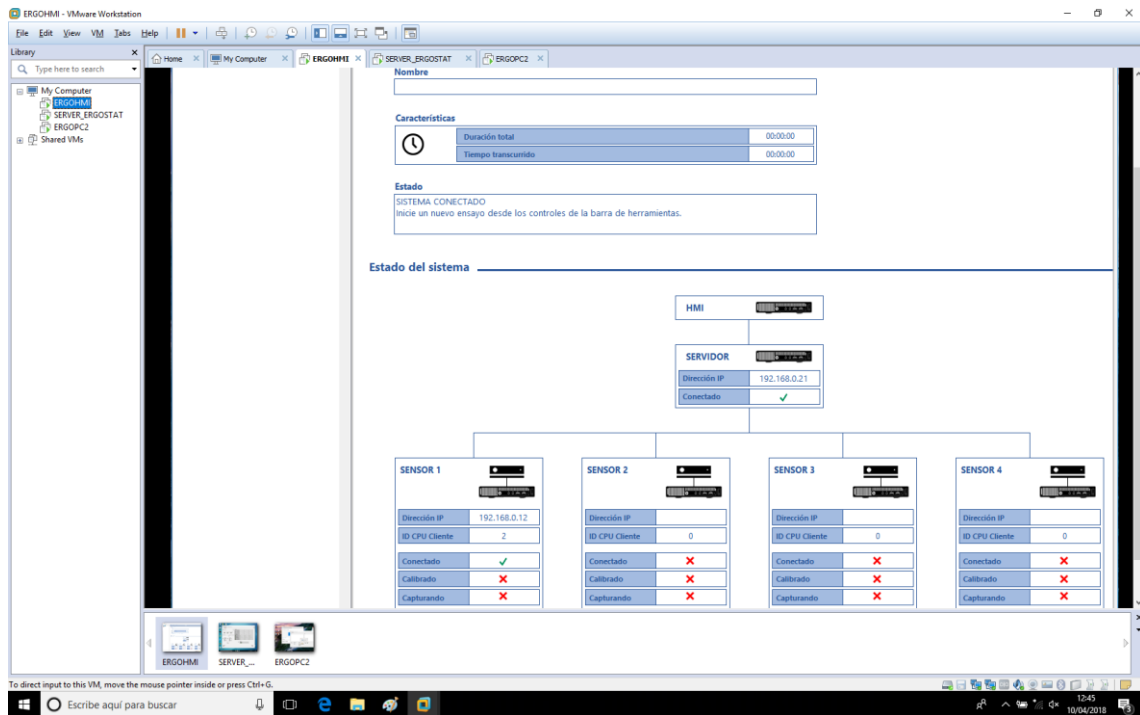


ILUSTRACIÓN 52. CONEXIÓN VIRTUAL ENTRE HMI-SERVER-ERGOPC2

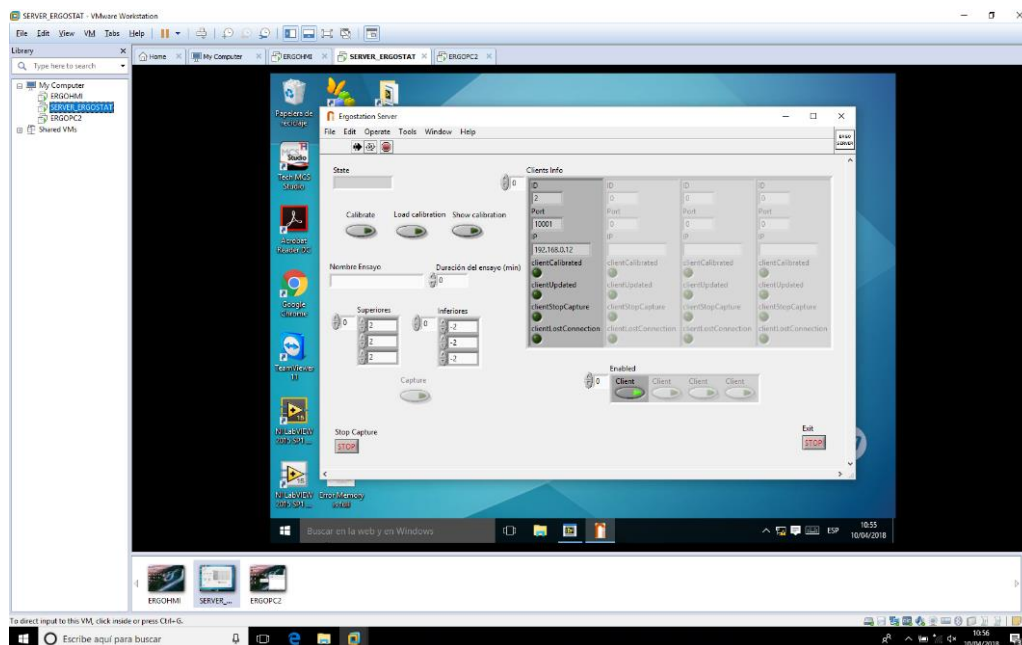


ILUSTRACIÓN 53. CONEXIÓN SERVER-ERGOPC2



### 3.4.3 Limitaciones en el uso de la virtualización cámaras Kinect.

El principal inconveniente de esta solución (que hoy por hoy, la hace inviable) es que los controladores de cámaras Kinect funcionan con librerías DirectX11, y actualmente las máquinas virtuales de las que se dispone son incompatibles con aplicaciones y/o controladores que utilizan DirectX11, por lo que se ha podido conectar la cámara, pero sin recibir señal alguna.

Como el mundo tecnológico avanza rápidamente, esta opción se ha dejado preparada (con todas las conexiones virtuales realizadas) para cuando sea posible utilizar DirectX11 en máquinas virtuales.

### 3.4.4 Solución adoptada.

Pese a no poder actualmente utilizar las cámaras Kinect en máquinas virtuales, sí que es posible utilizar los sensores inerciales utilizando únicamente el HMI y el Server, ya que son los únicos PCs necesarios para hacer funcionar el sistema.

Se ha instalado el software de uno de los ErgoPC en el PC nativo donde está el VMware Workstation y se ha conseguido hacer funcionar los sensores inerciales a través de las máquinas virtuales y una cámara Kinect desde el PC nativo, lo que permite usar los sensores inerciales y una cámara que puede ser usada como captación del esqueleto o simplemente como testigo para complementar con video el ensayo de sensores inerciales.

El principal inconveniente de esta solución es que es necesario conectar mediante USB el Tech HUB ya que no se ha conseguido comunicar mediante el bluetooth dentro de la máquina virtual.

Las siguientes imágenes reflejan el traje de sensores inerciales, funcionando en un único PC gracias a las máquinas virtuales, y las conexiones USB realizada con hub usb 3.0 de 10 puertos.



ILUSTRACIÓN 54. TRAJE Y FUNCIONAMIENTO EN VMWARE.

El esquema de funcionamiento final de la ErgoStation 3.0 sería el siguiente:

## ErgoStation 3.0

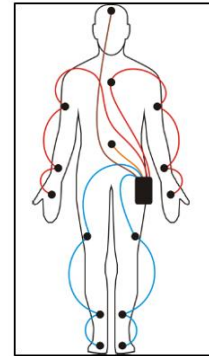


ILUSTRACIÓN 55. ESQUEMA DE LA VERSIÓN 3.0 CONSEGUIDA

## 4 Conclusiones:

Se han conseguido implantar mejoras, tanto en el sistema de evaluación ergonómica, como en la línea de montaje; las que no han sido posibles (en la mayoría de los casos, porque necesitaban un nuevo desarrollo muy costoso económicamente) se han dejado como propuestas futuras.

Hablando del sistema de evaluación ergonómica, se ha analizado en una línea simulada detectando errores de captación de datos comparando los resultados obtenidos con sensores inerciales y como cámaras Kinect; creando un modelo de informe para el análisis que se utilizará cada vez que se quiera analizar el sistema tras alguna mejora implantada. La mejora que se ha conseguido desarrollar más profundamente ha sido la simplificación del sistema mediante la virtualización, consiguiendo utilizar los sensores inerciales y una cámara Kinect con el sistema simplificado, además de dejar preparado todo el sistema para cuando el desarrollo tecnológico supere la barrera de utilizar cámaras Kinect v2 en máquinas virtuales.

Por otro lado, se ha implementado el sistema de evaluación ergonómica (ErgoStation) en la línea de montaje con la llegada del nuevo motor, analizando los 22 puestos de trabajos manuales que han sufrido cambios respecto a la producción que se llevaba a cabo anteriormente. De esos 22 puestos, se han validado todos, teniendo que realizar cambios o intervenciones en 7 de ellos. Para llegar a este punto se ha creado un modelo de informe, creando tablas Excel con las que trabajar, creando un precedente a la hora de reportar los análisis y proponer mejoras sobre la línea de montaje.

## 5 Presupuesto:

Por motivos de confidencialidad de la empresa, se enumeran los requisitos tanto de hardware como de software sin especificar el precio de cada requisito en particular, añadiendo al final un resumen general del coste.

Primer desarrollo (solamente uso de cámaras Kinect):

Requisitos de hardware:

- 4 PCs Microsoft
- 4 sensor Kinect 2 (Xbox One)
- 4 trípodes, uno para cada Kinect.
- 1 PC equipado con teclado, ratón y pantalla.
- Una tarjeta I/O para conectar el PC a I/O externos.
- Una mesa móvil para transportar todos los equipos.
- Cables para conexión Wireless

Requisitos del software:

- Desarrollo de la aplicación en entorno LabVIEW
- Librerías haro3d para LabVIEW.

Presupuesto del hardware y software base	
Desarrollo del hardware descrito en el apartado requisitos	14.486€
Desarrollo de la aplicación base para adquisición de datos e información	6.134€

Presupuesto del hardware y software opciones avanzadas	
Desarrollo para la definición flexible de las operaciones, ciclos, etc.	4.050€
Desarrollo en la consideración de ángulos para posturas ergonómicas	2.970€
Personalizar informes como ejemplo facilitado	7.560€
<del>Consideración del tipo de motor en la aplicación ergonómica</del>	<del>5.250€</del>
Posibilidad de análisis ergonómicos Sue Rodgers, RULA & Niosh	6.075€
	2.025 € (SR solo)

<b>Total primer desarrollo</b>	<b>37.225 €</b>
--------------------------------	-----------------

Segundo desarrollo (Introducir sensores inerciales):

Requisitos de hardware:

- (1) Tech-HUB V.3.0
- (16) Tech-IMU CAN V.4.0.
- (1) Tech-MCS Studio V.4.0.
- (1) Micro SD 8 GB – Class6.
- (1) Transport Professional Suitcase.

- (1) Lycra suit.
- (1) Belt for HUB.
- (14) CAN wires.
- (1) USB wires.
- (1) Bluetooth communicate device.
- (1) Power adapter 5V 3A.
- (8) Rechargeable batteries 1.2V, 2450 mAh.
- (1) Two years free update.

Requisitos del software:

- Incluir en el software la posibilidad de utilizar los sensores inerciales
- Incluir en el software utilizar cámaras y sensores conjuntamente
- Utilizar tecnología bluetooth para comunicar con sistema inercial.
- Seleccionar informes realizados con sensores inerciales.

<b>Presupuesto del hardware y software segundo desarrollo</b>	
Desarrollo del hardware descrito en el apartado requisitos	19.110 €
Modificación de la aplicación incluyendo sensores inerciales	20.428 €

<b>Total segundo desarrollo</b>	<b>39.538 €</b>
---------------------------------	-----------------

<b>RESUMEN DE COSTES POR DESARROLLO</b>	
Coste del primer desarrollo	<b>37.225 €</b>
Coste del segundo desarrollo	<b>39.538 €</b>
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>76.763 €</b>

A este presupuesto del coste de la ErgoStation, habría que añadirle el dinero destinado al becario (autor del presente TFM) durante 8 meses de beca en Ford Motor Company.

<b>Coste becario en Fase 6 del proyecto</b>	
Beca de 420 €/mes	<b>3.360 €</b>

## 6 Pasos futuros:

Nuevos desarrollos son posibles en esta tecnología aún por explotar y mejorar, como, por ejemplo:

- 1- Revisar y unificar los criterios de ángulos de las distintas articulaciones y grupos musculares de manera que la obtención de las zonas críticas ergonómicamente sean lo más realistas posible. Unificar datos obtenidos con las cámaras y los sensores, intentando entender las diferencias entre ambos y las variaciones que se producen según el método de adquisición de datos.
- 2- Versión portable / Virtualización (ya avanzado, logrando comunicar HMI, servidor y un Ergopc). Soluciones alternativas, lograr conexión bluetooth a través de máquina virtual.
- 3- Exportación a JACK (sistema de simulación ergonómica).



ILUSTRACIÓN 56. EJEMPLO DEL SOFTWARE JACK. (OBTENIDO DE SIEMENS)

- 4- Obtener la imagen 3D de la estación utilizando la tecnología Kinect. En la calibración de las cámaras Kinect ya se obtiene la nube de puntos. La idea es poder utilizarla para obtener medidas de esa imagen 3D.

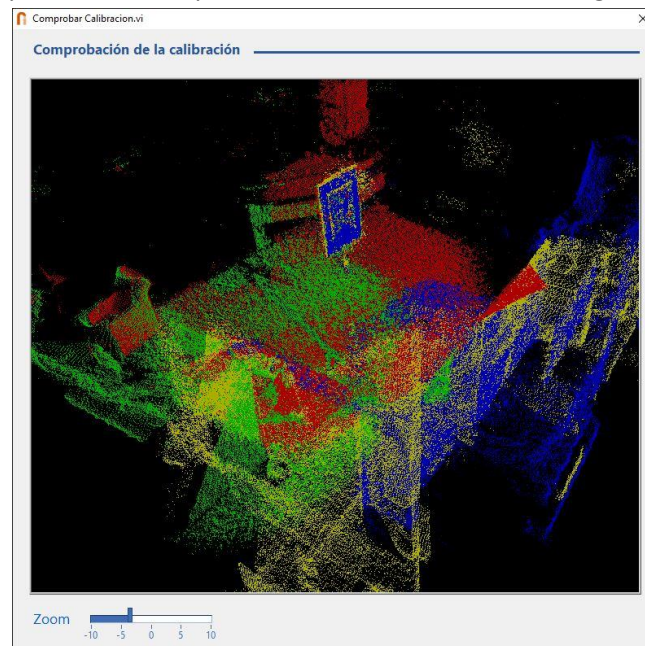


ILUSTRACIÓN 57. NUBE DE PUNTOS TRAS CALIBRACIÓN.

- 5- Estudiar la viabilidad y desarrollar análisis cinemático a partir de los movimientos de las articulaciones para cuantificar esfuerzos utilizando la opción ya desarrollada de obtener los datos de tiempo y ángulo en Excel.
- 6- Implementación de las mejoras descritas en el apartado 6 y que no han sido posible de implementar hasta el momento
- 7- Incluir guante con sensores de fuerza para realizar consideraciones ergonómicas añadiéndole la variable fuerza al análisis.

## 7 Bibliografía:

Historia de Ford Motor Company y Valencia Engine Plant:

- Documento interno de Ford Motor Company

Datos económicos y de absentismo y baja laboral

- [Estadística de Accidentes de trabajo 2016. Ministerio de empleo y seguridad social.](#)
- [Artículo económico. El País](#)
- 

Información sobre ergonomía:

- [Wikipedia](#)
- [Lista de comprobación ergonómica - Ergonautas](#)
- [Documento de lista de comprobación ergonómica del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.](#)
- [Job Strain Index - Ergonautas](#)
- [Ovako Working Analysis System - Ergonautas](#)
- [Rapid Upper Limb Assesment - Ergonautas](#)
- [Rapid Entire Body Assesment - Ergonautas](#)
- [NIOSH Evaluación del levantamiento de carga - Ergonautas](#)
- Sue Rodgers – Documento interno de Ford Motor Company

Cámaras Kinect:

- [Funcionamiento Kinect – bitácora.ingenet.com](#)
- [Cómo funciona la Kinect – computerhoy.com](#)
- [Kinect y sus diferentes versiones – computerhoy.com](#)

Sensores inerciales

- [Explicación de sensores inerciales – TechNaid.com](#)
- [Manual explicativo del hardware – TechNaid](#)

Virtualización:

- [Archivos .vdmk – Wikipedia](#)
- [Uso de VMware Converter Standlone – Nettix.com](#)
- [Comunicación de máquinas virtuales – solvertic.com](#)
- [Imposibilidad de DirectX11 en VMWare – msdn.microsoft.com](#)



## 8 Anexos

### 8.1 Documento de permiso de grabación ErgoStation.



Ford España, S. L.

#### CESIÓN DE DERECHOS DE IMAGEN A FORD ESPAÑA, S.L.

Por la presente accedo a participar en la grabación y/o toma de imágenes para la elaboración de material audiovisual que será utilizado para realizar un estudio de ergonómico para la evaluación de puestos manuales dentro del marco de Seguridad y Prevención de Riesgos Laborales, cediendo los derechos de reproducción de mi imagen, a favor de Ford España S.L. de forma permanente, sin pago ni retribución a cambio. Los archivos de vídeo serán almacenados en un equipo sin red sólo con la finalidad de realizar estudios ergonómicos.

Tengo conocimiento de que mi imagen puede editarse, copiarse, exhibirse, publicarse o distribuirse y renuncio al derecho a examinar y/o autorizar la reproducción del producto final en que aparezca mi imagen. |

Nombre y apellidos \_\_\_\_\_ DNI \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

El trabajador podrá ejercitar, en cualquier momento, los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición de sus datos recopilados y archivados. El ejercicio de estos derechos podrá efectuarse, dirigiéndose por escrito a Ford España, S.L., con domicilio en Almussafes, Polígono Industrial Norte, s/n, que deberá acompañar de fotocopia de documento nacional de identidad, fecha, firma y dirección a efectos de notificaciones.

## 8.2 Ejemplo de informe ErgoStation

### ERGOSTATION OP 1595 (22/02/2018)

#### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Con la llegada del nuevo motor, se pretende analizar los puestos de trabajo manuales con la herramienta ErgoStation, con el fin de verificar que las operaciones son ergonómicamente verdes. Para ello se ha realizado un planning, en el que cada semana se examinará una estación de trabajo hasta completar todas las operaciones manuales del nuevo motor.

Se ha realizado la captura de imágenes y movimiento de la operación 1595 el día 31 de enero, por la que ha pasado 1 operarios representativo del percentil de tallas significativo de los operarios de esta estación durante 1 turnos de producción en horario de mañana el día 31 de enero.

Se han analizado tanto producción de motor FEB (producción normal) como producción MV (nuevo motor), de manera separada. Para este análisis con la ErgoStation se han situado las 4 cámaras (2 frontales y 2 traseras), de tal manera que se captase de la manera más clara y evidente posible todos los movimientos del operario, que realizaba esta operación sentado.

Por la operación pasan motores tanto de del nuevo motor como de producción normal.

#### 2. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:

Tiempo de ciclo actual: █████ seg/motor

Tareas (proceso MV):

████████████████████  
██  
██  
██  
██  
██



Alturas de trabajo:

En esta operación se trabaja sobre plataforma de 10 cm + alfombra antifatiga.

Abastecimiento:

	Elemento	Altura (cm)	Alcance (cm)
1	Bebederos tornillo / pin		
2			
3			
4			
5	Herramientas en reposo		
Cajas / Retornos			
7	Retorno protector/pin/tornillo		

Operación:

	Tarea	Altura (cm) Plat 10	Altura (cm) Suelo	Alcance (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

### 3. EVALUACIÓN ERGONÓMICA INICIAL:

Se obtiene una prioridad de cambio de 2 (verde), utilizando la herramienta estándar de evaluación Ergonómica (análisis Sue Rodgers).

#### 3.1 ACCIONES DE MEJORA REALIZADAS TRAS LA EVALUACIÓN INICIAL

- Se comprueba que la fuerza de introducción de Knock sensor, al realizar el cambio de diseño es correcta y nos da un resultado de ■■■N (valor máximo es ■■■N por cogerlo con pinza)
- Se recomienda eliminar la plataforma para aumentar la visibilidad en la zona de montaje de la placa (modelo Nuevo motor). Para modelo FEB la tarea más alta de posicionar protector es de duración muy corta y sin fuerza, por lo que no afecta a la severidad del puesto.

#### 4. RESULTADOS CON ERGOSTATION Y ANÁLISIS

Los datos obtenidos muestran que los movimientos más críticos en esta estación son los que afectan a la zona del cuello, espalda y hombros.

Los criterios utilizados por la herramienta ErgoStation (en ángulos que forman las articulaciones y grupos musculares) son los siguientes:

		Color Zona 1	Color Zona 2	Color Zona 3
		Guardar Colores		
		Zona 1	Zona 2	Zona 3
Shoulder	Flexion	0	48	95
	Extension	0	16	32
	Abduction	0	35	68
	Adduction	0	13	25
Elbow	180	120	100	
Back	Flexion	0	26	46
	Extension	0	11	21
	Rotational	0	26	46
	Lateral bend	0	11	21
Neck	Flexion	0	23	46
	Extension	0	16	31
	Lateral bend	0	13	25
Leg bending	180	120	100	
Wrist flexion ext.	0	26	51	
Esfuerzo:		Ligero	Moderado	Duro

Parte del Cuerpo	MV	FEB
Lateral Neck Bend	6	6
Neck Flexion	3.5	2
Neck Extension	1	1
Lateral Back Bend	3	2.5
Back Flexion	2	2
Back Extension	2	3
Back Rotation	2	2.5
Right Shoulder Flexion	2	3
Right Shoulder Extension	3	6
Right Shoulder Abduction	5	6
Right Shoulder Adduction	3	3
Left Shoulder Flexion	3.5	2
Left Shoulder Extension	2	3
Left Shoulder Abduction	6	6
Left Shoulder Adduction	2.5	1

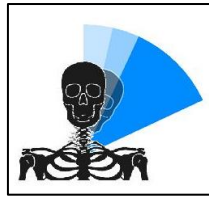
Según estos parámetros, las posiciones que nos indican mayor severidad son las siguientes, según el tipo de motor:

- Movimiento lateral del cuello
- Movimiento de aducción del hombro derecho.
- Movimiento de extensión y de abducción del hombro izquierdo

A continuación, se detalla cada uno de los valores obtenidos en las distintas posiciones:

## Movimiento de lateral del cuello

Parte del Cuerpo	MV	FEB
Lateral Neck Bend	6	6



### Producción MV



### Producción FEB



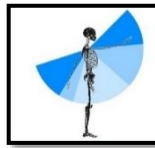
MV	
Porcentaje tiempo movimiento lateral cuello	
	Porcentaje
Zona 1	55,0
Zona 2	36,7
Zona 3	8,1

FEB		
Porcentaje tiempo movimiento lateral cuello		
	Valor(s)	Porcentaje
Zona 1	81,3	61,2
Zona 2	48,0	31,6
Zona 3	9,3	7,2

Las dos primeras imágenes de cada tipo de motor, efectivamente el operario realiza este movimiento lateral, pero el tiempo que está en zona 3 comparado con el resto es muy corto.

## Movimiento de extensión con hombro derecho

Right Shoulder Extension	3	6
--------------------------	---	---



### Producción FEB

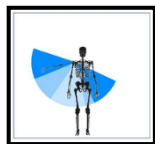


FEB	
Porcentaje de tiempo extensión hombro derecho	
	Porcentaje
Zona 1	3,1
Zona 2	2,3
Zona 3	3,9

Según lo que se aprecia en las imágenes la extensión es muy leve, casi inexistente, posiblemente incluso exagerada por la ErgoStation y además en un periodo de tiempo casi insignificante.

## Movimiento de abducción con hombro derecho

Right Shoulder Abduction	5	6
--------------------------	---	---



### Producción FEB

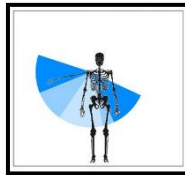


FEB	
Porcentaje de tiempo abducción del hombro derecho	
	Porcentaje
Zona 1	58,8
Zona 2	28,6
Zona 3	6,2

Se produce abducción del hombro derecho al ir a coger la herramienta, pero al igual que en los anteriores casos, el tiempo que está en zona 3 es muy corto.

### Movimiento de abducción con hombro izquierdo

Left Shoulder Abduction	6	6
-------------------------	---	---



### Producción MV



MV	
Porcentaje de tiempo aducción del hombro izquierdo	
	Porcentaje
Zona 1	60,8
Zona 2	13,7
Zona 3	3,8

### Producción FEB



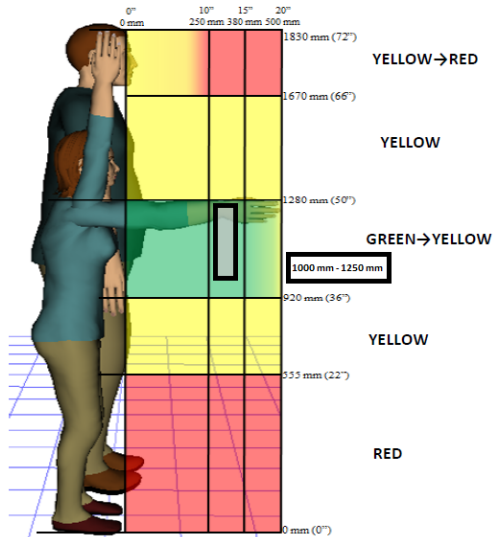
FEB		
Porcentaje de tiempo aducción del hombro izquierdo		
	Porcentaje	
Zona 1	66,6	
Zona 2	21,9	
Zona 3	5,8	

Se produce abducción del hombro izquierdo al ir a coger tornillos, pero al igual que en los anteriores casos, el tiempo que está en zona 3 es muy pequeño.



## 5. CONCLUSIONES:

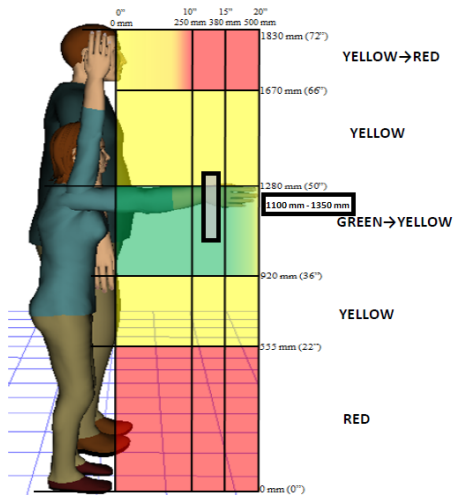
Según los criterios de diseño de Ford el rango de trabajo óptimo está entre 920 y 1280 cm. En el gráfico que se muestra a continuación podemos ver las zonas donde estamos trabajando actualmente en la operación 1595.



The guidelines are developed to accommodate a global range of anthropometrics from a 5<sup>th</sup> percentile female to a 95<sup>th</sup> percentile male and strength capability of 75% of the female population.

- Green**—Preferred Work zone
- Yellow**—Ergonomic Deep Dive Required
- Red**—Not acceptable, engineering change required.
- Ergo Zone**—Cyclic

En el siguiente gráfico veríamos donde estaríamos si quitásemos la plataforma.



- Green**—Preferred Work zone
- Yellow**—Ergonomic Deep Dive Required
- Red**—Not acceptable, engineering change required.
- Ergo Zone**—Cyclic

El gráfico representa en zona verde la zona preferente de trabajo, y en amarillo una zona donde se puede trabajar pero que requiere de un análisis ergonómico más exhaustivo.

Con los resultados obtenidos con la ErgoStation se confirma la valoración inicial del puesto (prioridad 2) para los operarios que se encuentran dentro del percentil indicado en la guía.

## 6. PROPUESTAS:

- a) Bajar 10 cm la altura de los bebederos lado izquierdo operarios, con lo que disminuiríamos aún más el efecto de la abducción del hombro izquierdo (pese a no ser algo crítico). No es necesario modificar las alturas de la rampa
- b) No se realiza ninguna propuesta a mayores al considerar que la estación mantiene una prioridad de 2 (verde).
- c) En el caso de eliminarse la plataforma, se realizaría una nueva comprobación.

### 8.3 Manual de uso de la ErgoStation

Antes de poder configurar un nuevo ensayo, es necesario instalar las cámaras y/o sensores, para ello intentaremos situar las cámaras en los 4 vértices de un cuadrado imaginario en el que en el medio se sitúa el operario; la distancia ideal del operario a las cámaras estará entre 1,5 m y 2 m. De las cámaras hay que conectar un cable a la fuente de alimentación de 12 V de la ErgoStation y otra al USB.

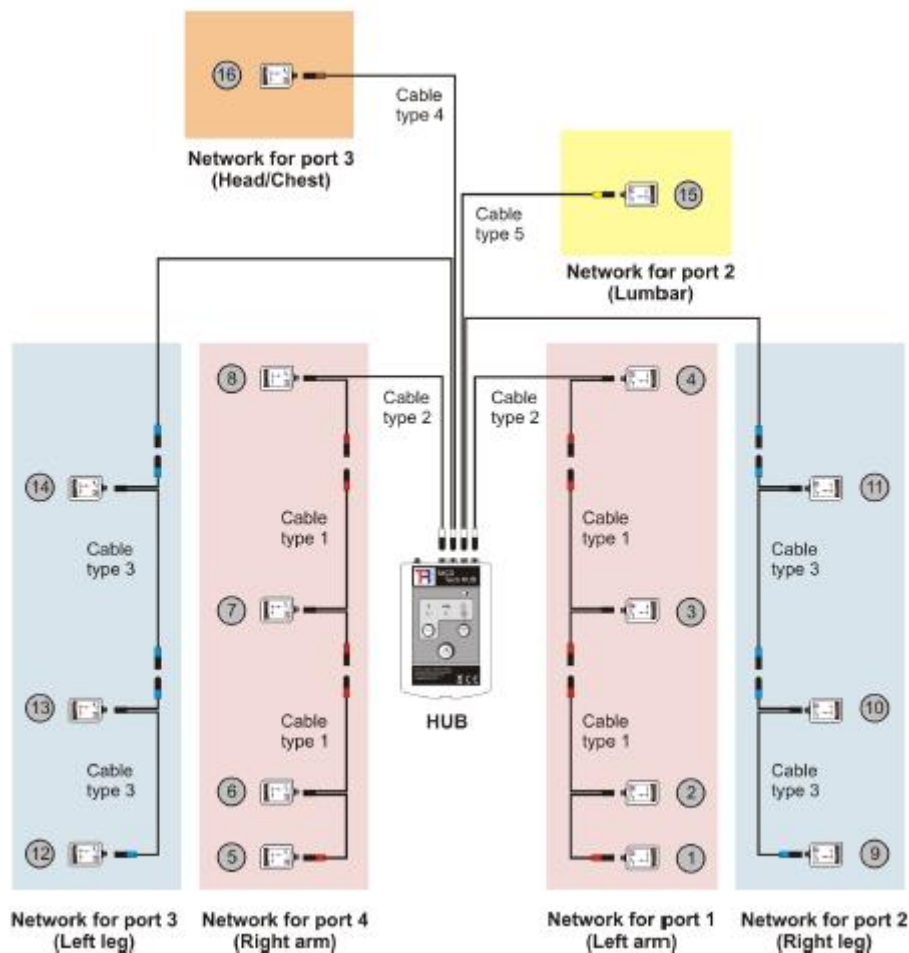
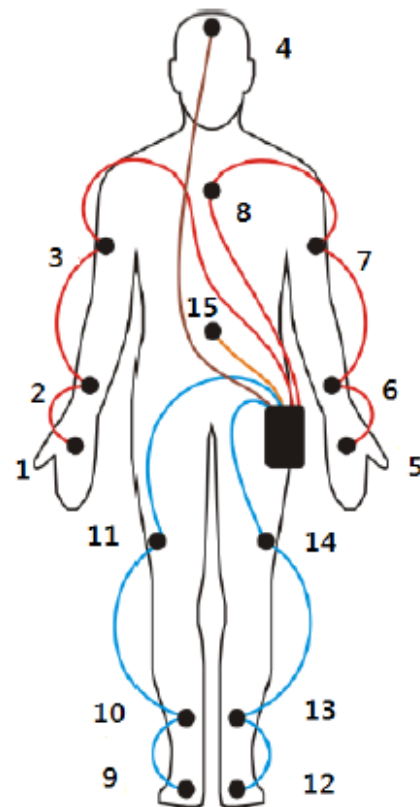


Si quisiésemos utilizar los sensores, conectaríamos la antena bluetooth a la salida que tenemos en la parte superior de la ErgoStation.

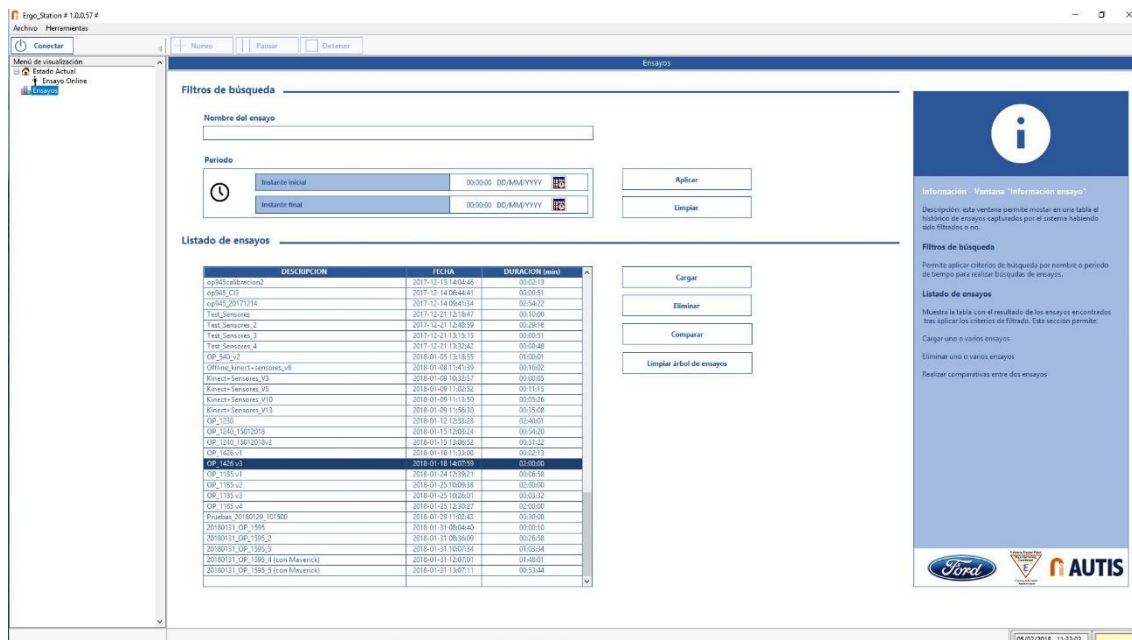


Los sensores se colocarán según se indica en el manual de technaid siguiendo este modelo:

1. Right Hand – ICEA 370
2. Right Forearm – ICEA 378
3. Right Arm – ICEA 372
4. Head – ICEA 376
5. Left Hand – ICEA 382
6. Left Forearm – ICEA 383
7. Left Arm – ICEA 384
8. Chest – ICEA 392
9. Right Foot – ICEA 373
10. Right Leg – ICEA 374
11. Right Thigh – ICEA 375
12. Left Foot – ICEA 377
13. Left Leg – ICEA 387
14. Left Thigh – ICEA 388
15. Lumbar – ICEA 391

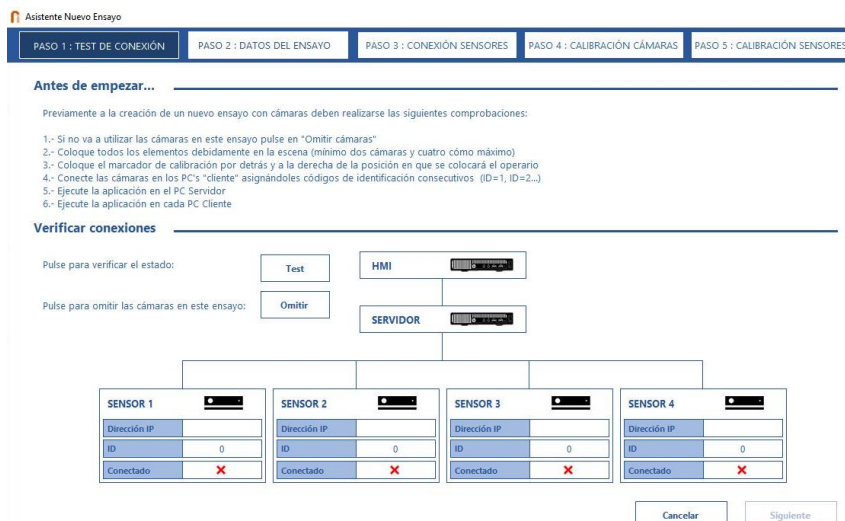


Para realizar un ensayo online, el procedimiento sería el siguiente:

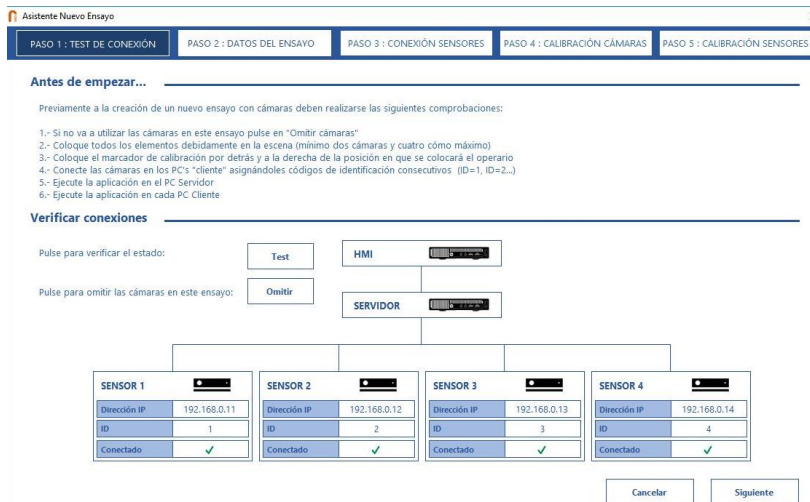


Para realizar un nuevo ensayo, la metodología de uso es muy sencilla:

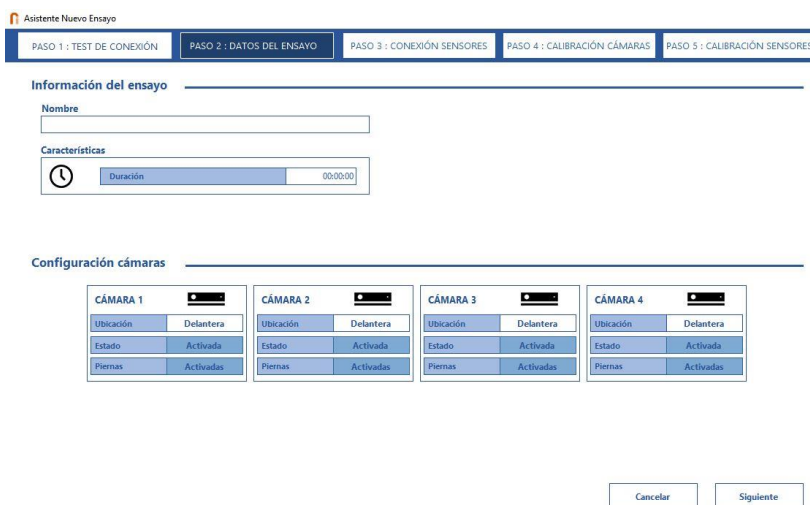
1. Pulsar el botón Conectar de la parte superior izquierda.
2. Pulsar el botón Nuevo situado en la parte superior, una vez pulsado se abrirá la siguiente pantalla:



3. Pulsando el botón Test, se comprobará la conexión del HMI con el servidor, y si se está pudiendo acceder a la información proporcionada por las cámaras (en el caso de no haber situado las 4 cámaras, aparecerán validadas el número de cámaras que hayamos puesto). Una vez comprobado esto, pulsar el botón siguiente:



4. Se abrirá una nueva pantalla, en la que podremos configurar:
  - a. El nombre del ensayo
  - b. La duración de este
  - c. La ubicación de cada cámara (trasera o delantera)
  - d. El estado (activada o desactivada)
  - e. Activar o desactivar el reconocimiento de piernas.



Ejemplo de un ensayo:

CÁMARA 1		CÁMARA 2		CÁMARA 3		CÁMARA 4	
Ubicación	Delantera	Ubicación	Delantera	Ubicación	Trasera	Ubicación	Trasera
Estado	Activada	Estado	Activada	Estado	Activada	Estado	Activada
Piernas	Desactivadas	Piernas	Desactivadas	Piernas	Desactivadas	Piernas	Desactivadas

Una vez configurado, pulsar en siguiente.

5. Se abrirá una nueva pantalla para conectar (en función de si se utilizan o no), los sensores inerciales:

- a. Si se desean utilizar, pulsar en conectar (una vez encendido y conectado el Tech-HUB V3, tal y como se ha descrito en el apartado de hardware).
- b. Si no se desean utilizar, pulsar en omitir.

**Asistente Nuevo Ensayo** [X]

PASO 1 : TEST DE CONEXIÓN | PASO 2 : DATOS DEL ENSAYO | **PASO 3 : CONEXIÓN SENSORES** | PASO 4 : CALIBRACIÓN CÁMARAS | PASO 5 : CALIBRACIÓN SENSORES

**Antes de empezar...**

Previamente a la creación de un nuevo ensayo con sensores inerciales deben realizarse las siguientes comprobaciones:

- 1.- Si no va a utilizar los sensores inerciales en este ensayo pulse en "Omitir sensores".
- 2.- Coloque el traje al operario y cerciórese de la correcta conexión de todos los extremos de los cables a los sensores y al aparato emisor.
- 3.- Coloque el dispositivo Bluetooth en el PC Servidor y asegúrese de que parpadea la luz verde "Mode".
- 4.- Conecte el aparato emisor y, en cuanto escuche un pitido, pulse en "Mode".
- 5.- Asegúrese de que se enciende la luz azul bajo el símbolo Bluetooth en el aparato emisor y de que parpadea la luz verde "Connect" en el dispositivo Bluetooth.
- 6.- Pulse en conectar y espere al mensaje de respuesta.
- 7.- Si aparece un error de conexión repita estos pasos cambiando el dispositivo Bluetooth de puerto.

**Verificar conexión**

Pulse para conectar:

Pulse para omitir los sensores en este ensayo:

6. Se accede a la pantalla de calibración de las cámaras:

**Asistente Nuevo Ensayo** [X]

PASO 1 : TEST DE CONEXIÓN | PASO 2 : DATOS DEL ENSAYO | PASO 3 : CONEXIÓN SENSORES | **PASO 4 : CALIBRACIÓN CÁMARAS** | PASO 5 : CALIBRACIÓN SENSORES

**Realizar calibración**

Opción 1 - Para realizar una calibración nueva pulse "Calibrar"

Opción 2 - Para cargar la última calibración realizada pulse "Cargar"

SENSOR 1

Calibrando ✘

SENSOR 2

Calibrando ✘

SENSOR 3

Calibrando ✘

SENSOR 4

Calibrando ✘

Progreso 00:00

**Verificar calibración**

Realiza una verificación de la calibración realizada

Se deben de seguir los siguientes pasos:

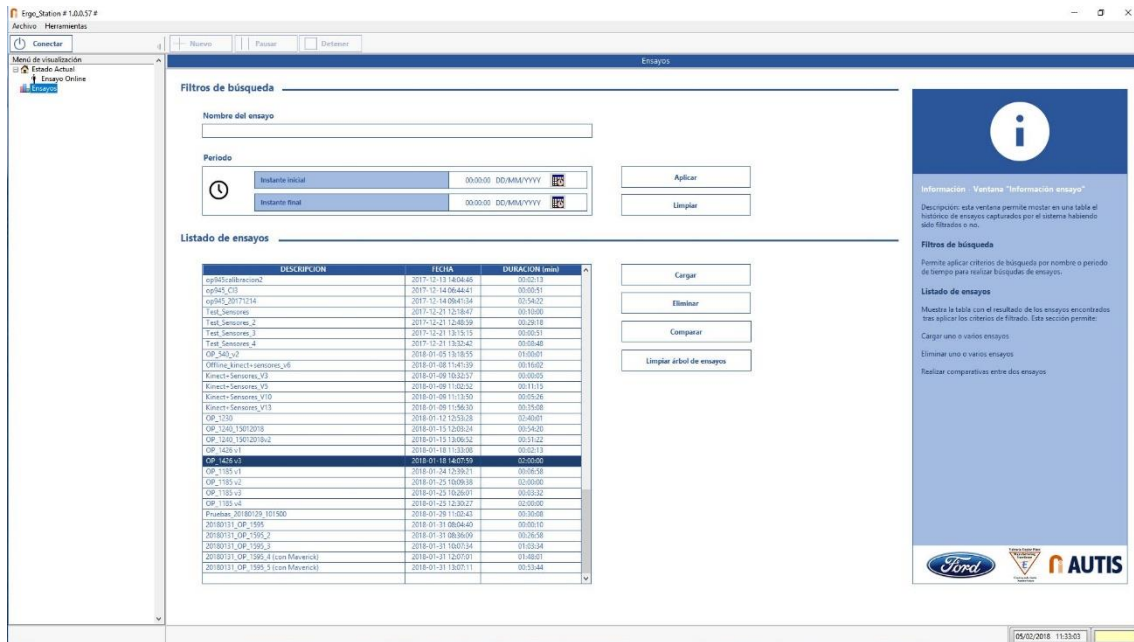
- a. Situar el calibrador (descrito en la parte Hardware de las cámaras Kinect), en una zona aproximadamente equidistante a todas las cámaras (a ser posible ligeramente más cercana a la cámara trasera derecha), de tal manera que se pueda apreciar en el software que desde todas las cámaras se ve bien.
  - b. Pulsar en calibrar y esperar hasta que la barra de progreso sea verde.
  - c. En el caso de que la barra sea roja, mover el calibrador ligeramente de posición y volver a calibrar.
  - d. Una vez sea verdad, comprobar pulsando en el botón test que todas las cámaras están perfectamente calibradas (todas deben de tener un “check” verde).
  - e. En el caso de no obtener la calibración deseada volver al paso “c”.
  - f. Cuando todo está correcto, pulsar en Iniciar.
7. En el caso de haber omitido los sensores, se iniciará el ensayo; en el caso de no haberlos omitido, se procederá a la calibración de los sensores.
  8. Para la calibración de los sensores, será necesario pulsar calibrar, una vez el operario está de pie, con los brazos en reposo y mirando al frente, tal y como se refleja en la imagen:



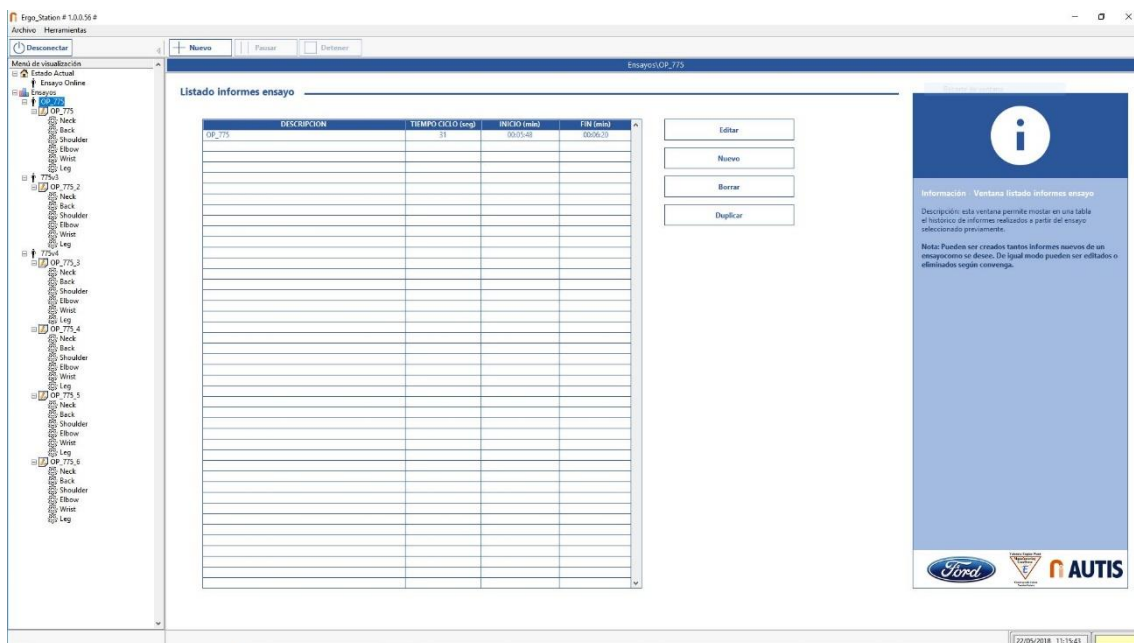
Una vez realizado todos estos pasos, comenzará el ensayo durante el que podremos observar in situ la captación de ángulos de cada uno de los diferentes grupos musculares.

Para visualizar un ensayo ya realizado, el procedimiento sería el siguiente:

1. En la parte izquierda de la pantalla seleccionaríamos la opción “Ensayos”:



2. Elegiríamos el ensayo que queremos visualizar y pulsaríamos en el botón cargar. También podríamos en el apartado de filtros de búsqueda, encontrar ensayos según su nombre o según su fecha de creación.
3. Al pulsar en cargar, en la parte izquierda aparecerá, debajo de ensayos, el nombre del ensayo en cuestión. Al pulsar en él, se abrirá una nueva pantalla con la que podremos crear tramos dentro de ese ensayo. Desde esa pantalla podremos:
  - a. Crear un nuevo tramo
  - b. Duplicar un tramo ya existente
  - c. Eliminar un tramo existente





- Al pulsar en crear nuevo tramo, se abrirá la siguiente ventana en la que podremos configurar las características de nuestro tramo.

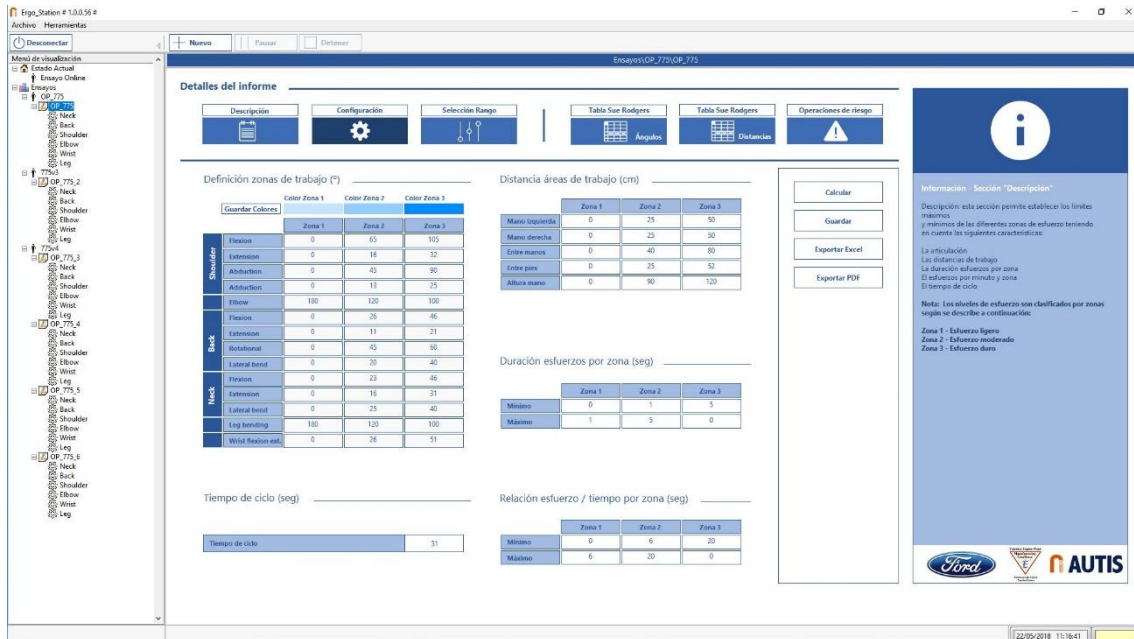
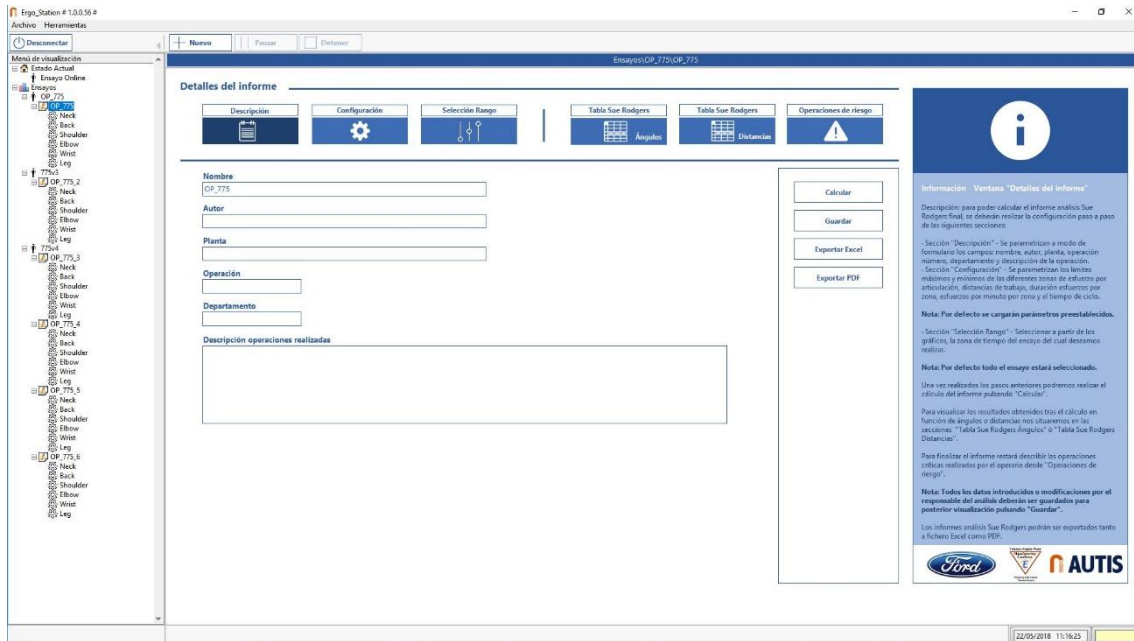
En las siguientes ventanas podremos definir:

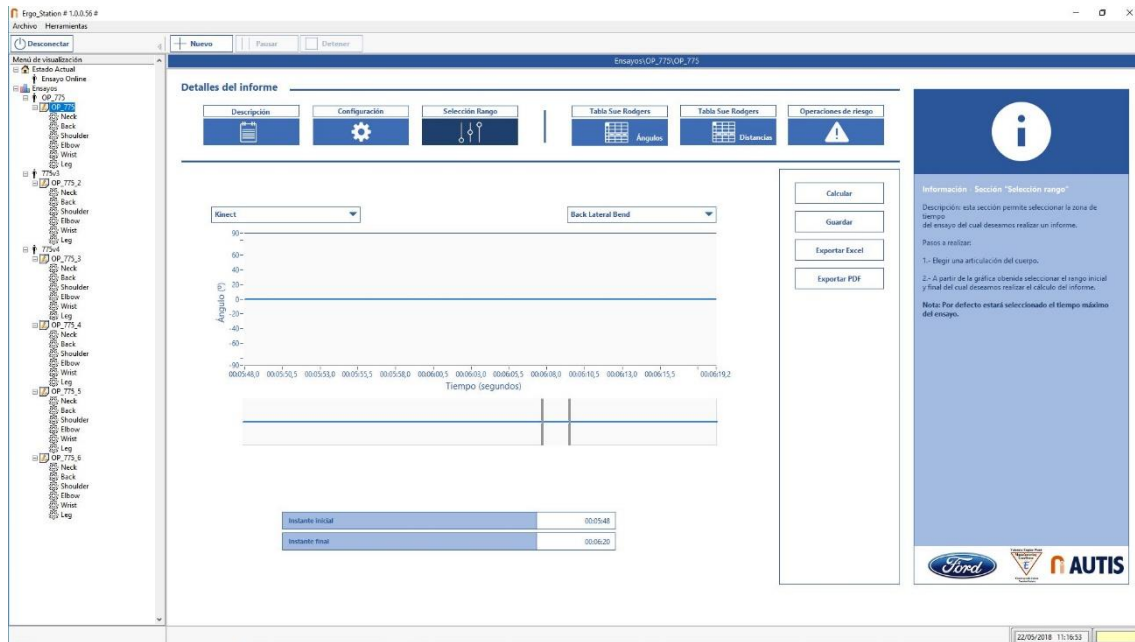
3.2 Nombre

3.3 Duración total del tramo

3.4 Duración del tiempo de ciclo

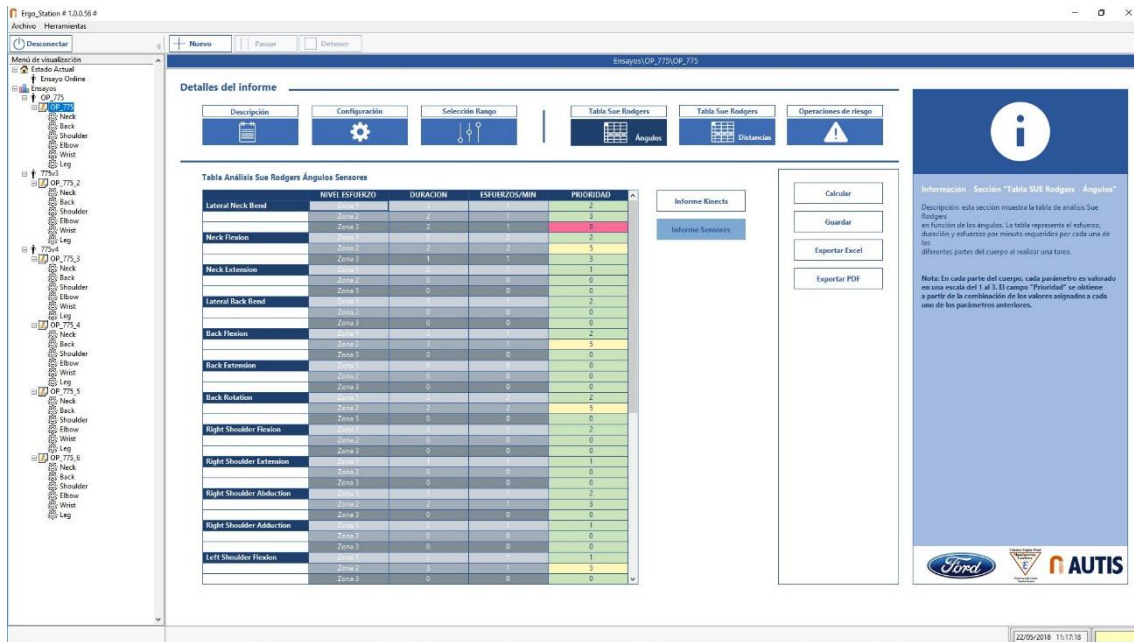
3.5 Criterios para obtener valores de zona en los diferentes apartados.





Una vez definidas todas las características, se pulsará en calcular.

Una vez calculado podremos observar la información en formato Sue Rodgers, en los siguientes documentos.



Los criterios para determinar las zonas son los siguientes:

Definición zonas de trabajo (°)

		Color Zona 1	Color Zona 2	Color Zona 3
		Zona 1	Zona 2	Zona 3
<b>Shoulder</b>	Flexion	0	65	105
	Extension	0	16	32
	Abduction	0	45	90
	Adduction	0	13	25
<b>Elbow</b>	Flexion	180	120	100
	Extension	0	26	46
	Rotational	0	11	21
	Lateral bend	0	45	60
<b>Neck</b>	Flexion	0	23	46
	Extension	0	16	31
	Lateral bend	0	25	40
<b>Leg bending</b>	Flexion	180	120	100
	Wrist flexion ext.	0	26	51

Duración esfuerzos por zona (seg)

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Mínimo	0	1	5
Máximo	1	5	0

Relación esfuerzo / tiempo por zona (seg)

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Mínimo	0	6	20
Máximo	6	20	0

Tiempo de ciclo (seg)

Tiempo de ciclo	31
-----------------	----

En base a estos criterios (modificables) este Sue Rodgers es obtenido utilizando los criterios definidos anteriormente en la pestaña configuración, obteniendo un valor del 1 al 10 definido por la combinación de los anteriores de la siguiente manera:

Nivel de esfuerzo	Duración	Esfuerzos/min	Prioridad
1	1	1	1
1	1	2	1
1	2	1	1
1	2	2	2
1	3	1	2
2	1	2	2
1	1	3	2
2	2	1	3
3	1	1	3
1	2	3	4
1	3	2	4
2	1	3	5
2	2	2	5
2	3	1	5
2	3	2	6
3	1	2	6
2	2	3	7
3	1	3	7
3	2	1	8
3	2	2	8
3	2	3	9
3	3	1	9
3	3	2	10

También podremos añadir información extra en la pestaña operaciones de riesgo:

The screenshot shows a software application window titled 'Figo\_Station # 1.0.0.56 #'. The main interface is divided into several sections:

- Left Sidebar:** A tree view showing a hierarchy of tasks (e.g., OP\_775, OP\_775.2, OP\_775.3, OP\_775.4, OP\_775.5) and associated body parts (Neck, Back, Shoulder, Elbow, Wrist, Leg).
- Main Workspace:** Titled 'Detalles del informe', it contains several input fields:
  - Abastecimiento:** A text input field.
  - Descripción:** A text input field.
  - Esfuerzos:** A text input field.
  - Protección:** A text input field.
  - Observaciones:** A text input field.
- Right Side (Operaciones de riesgo):** Contains 'Representación' fields and buttons for 'Añadir', 'Eliminar', 'Calcular', 'Guardar', 'Exportar Excel', and 'Exportar PDF'.
- Far Right Panel:** An information panel titled 'Información - Sección "Operaciones de riesgo"' with a description of the risk analysis table and logos for Ford and AUTIS.

Podremos exportar a pdf o a Excel la información del tramo en el que estamos, simplemente pulsando en los botones de exportación. El archivo Excel será el siguiente:

20180502\_10704\_OP\_775\_Sensores - Microsoft Excel (Error de activación de productos)

Analisis SUE RODGERS

Preparado por: Fecha: 22/05/2018  
 Planta: Departamento:  
 Descripción de la operación:  
 Operación N°: Tiempo de ciclo(s): 31

Parte del Cuerpo	Nivel de Esfuerzo	Duración de Esfuerzo	Esfuerzos Almacenados	Prioridad
Neck Flexion	2	2	1	5
Neck Extension	1	2	1	1
Upper Back Bend	2	0	2	2
Upper Back Flexion	1	0	2	5
Upper Back Extension	1	0	0	0
Upper Back Flexion	1	0	0	5
Right Shoulder Flexion	1	3	1	2
Right Shoulder Extension	1	2	1	1
Right Shoulder Abduction	1	2	1	3
Right Shoulder Adduction	1	2	1	1
Left Shoulder Flexion	1	3	1	5
Left Shoulder Extension	1	2	1	1
Left Shoulder Abduction	1	2	1	2
Left Shoulder Adduction	1	2	0	0
Right Elbow	1	3	1	2
Left Elbow	1	3	1	2
Right Wrist Flexion	1	2	1	2
Right Wrist Extension	1	2	1	1
Right Leg Bending	1	2	1	1
Left Leg Bending	1	2	1	1
Mano Izquierda al Centro	0	0	0	0
Mano Derecha al Centro	0	0	0	0
Mano Izquierda al Centro	0	0	0	0
Mano Derecha al Centro	0	0	0	0
Distancia Entre Manos	0	0	0	0

La información introducida en la ventana de "Operaciones de riesgo" se muestra en este documento, al final de la hoja "Informe completo".

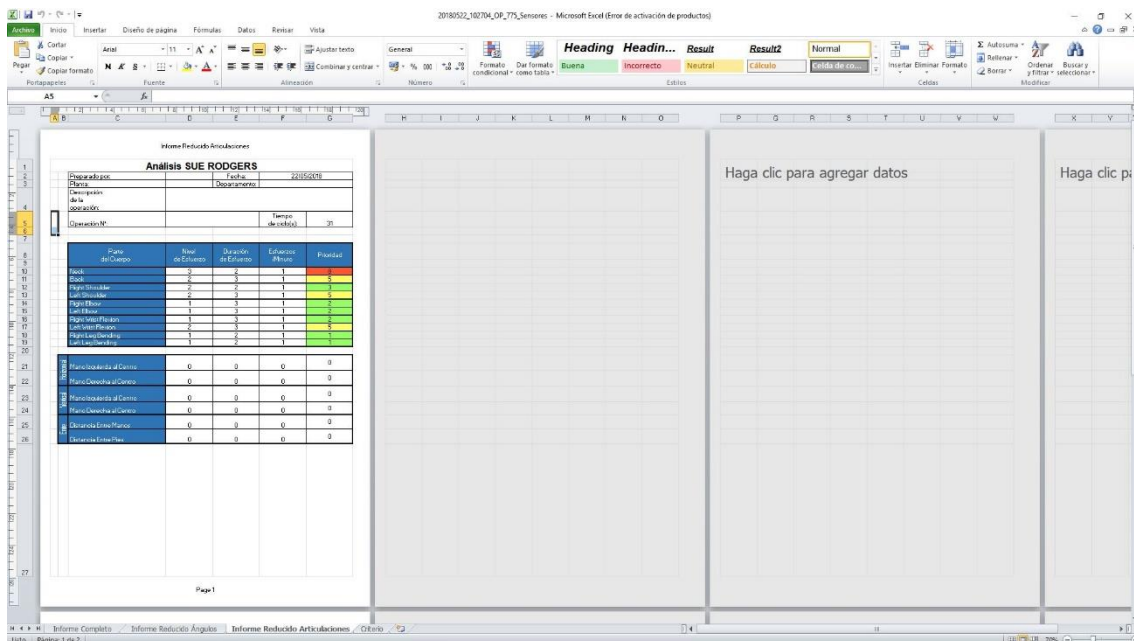
20180502\_10704\_OP\_775\_Sensores - Microsoft Excel (Error de activación de productos)

Informe Reducido Angulos

Analisis SUE RODGERS

Preparado por: Fecha: 22/05/2018  
 Planta: Departamento:  
 Descripción de la operación:  
 Operación N°: Tiempo de ciclo(s): 31

Parte del Cuerpo	Nivel de Esfuerzo	Duración de Esfuerzo	Esfuerzos Almacenados	Prioridad
Neck Flexion	2	2	1	5
Neck Extension	1	2	1	1
Upper Back Bend	2	0	2	2
Upper Back Flexion	1	0	2	5
Upper Back Extension	1	0	0	0
Right Shoulder Flexion	1	3	1	2
Right Shoulder Extension	1	2	1	1
Right Shoulder Abduction	1	2	1	3
Right Shoulder Adduction	1	2	1	1
Left Shoulder Flexion	1	3	1	5
Left Shoulder Extension	1	2	1	1
Left Shoulder Abduction	1	2	1	2
Left Shoulder Adduction	1	2	0	0
Right Elbow	1	3	1	2
Left Elbow	1	3	1	2
Right Wrist Flexion	1	2	1	2
Right Wrist Extension	1	2	1	1
Right Leg Bending	1	2	1	1
Left Leg Bending	1	2	1	1
Mano Izquierda al Centro	0	0	0	0
Mano Derecha al Centro	0	0	0	0
Mano Izquierda al Centro	0	0	0	0
Mano Derecha al Centro	0	0	0	0
Distancia Entre Manos	0	0	0	0



5. En la parte lateral izquierda, justo debajo del nombre del ensayo, podremos seleccionar el grupo muscular que se desee, y observar la gráfica ángulo-tiempo de ese tramo, así como la imagen del ensayo o datos de interés. Dentro del mismo grupo muscular podremos seleccionar el tipo de movimiento en el desplegable que se encuentra en la parte superior, encima de la gráfica.
- También podremos, haciendo clic con el botón derecho en la gráfica, exportar los datos de tiempo y ángulo a Excel (esta es una de las mejoras que se propuso, y se realizó en el programa, de tal manera que se podría trabajar con los datos exactos, con el fin de poder estudiar también velocidades y aceleraciones en un futuro).

