

EVALUACIÓN DE LA CARGA DINÁMICA DE TRABAJO

Profesor J. Malchaire

Pontificia Universidad Javeriana

Agosto 2004

OBJETIVOS

Interrogantes:

- Algunas fases de trabajo son o no son demasiado pesadas?
- El conjunto del trabajo, sobre la duración total de trabajo, es o no es demasiado pesado?
 - Para un trabajador promedio?
 - Para algunos trabajadores en particular?

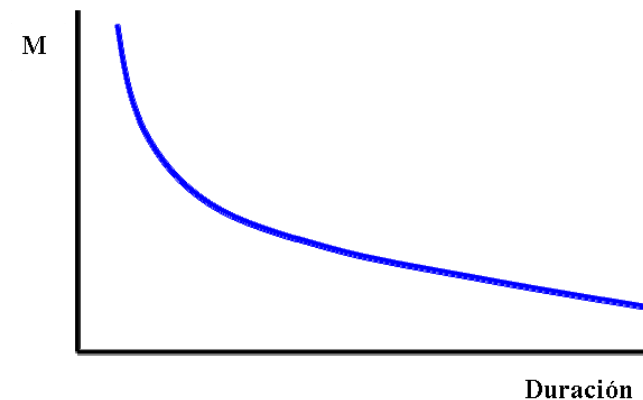
PRINCIPIOS BÁSICOS

- **Trabajo dinámico:** trabajo con movimientos, extensión y contracción de los músculos y, entonces, aporte de oxígeno a los músculos durante el trabajo
 - Caminar...
→ *fatiga física generalizada, debilidad a largo tiempo*
- **Trabajo estático:** trabajo sin movimiento y sin aporte de oxígeno
 - Llevar una maleta, empujar un carro
→ *fatiga muscular localizada y problemas músculo esqueléticos*

El metabolismo = la energía consumida por unidad de tiempo = la POTENCIA

- Por el carro: medición de la cantidad de combustible que, con oxígeno, produce la potencia
 - Por el cuerpo: medición de la cantidad de aire que, con el combustible (azúcar y grasa), produce la potencia
-
- Consumo de 1 l O₂ / min. = 5 kcal / min = 300 kcal / h = 350 watts

(1 watt = 0.87 kcal / h)



- Capacidad Máxima de Trabajo: CMT :
 - Hombre normal (30 años, 70 kg, buena salud) :
CMT = 3 l O₂ / min = 1 kW
 - Mujer (30 años, 55 kg, buena salud):
CMT = 660W (2/3 de la CMT del hombre)
 - Trabajador: CMT = f (edad, peso, forma física....)
- Metabolismo Máximo en función del tiempo: CMT :
- **La ley de BINK: Carga Máxima Aceptable (CMA) dependida del tiempo**

% CMT	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	33%	30%	20%
Duración limite	5'	10'	20'	40'	80'	160'	320'	480' = 8h	640'	1280'=1 día

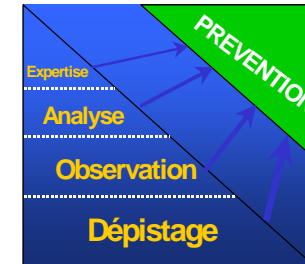
- En valores absolutos

100% CMT	5'	1kW			
			pesado	8h	400 W
33% CMT	8h	330 W			
			semipesado	8h	290 W
			liviano	8h	170 W
descanso		100 W			

- En valores relativos

pesado	8h	100 + 30% (CMT - 100)
semipesado	8h	100 + 20% (CMT - 100)
liviano	8h	100 + 10% (CMT - 100)

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS ISO 9886



Según la estrategia **SOBANE**, cuatro niveles:

Comparación de los métodos de determinación del metabolismo

Nivel	Método	Precisión	Inspección del lugar de trabajo
1 <i>Diagnóstico precoz</i>	A. Clasificación según la profesión	Información aproximada Riesgo alto de error	No es necesario, pero se requiere una información acerca del equipamiento técnico y la organización del trabajo
	B. Clasificación según la actividad		
2 <i>Observación</i>	A. Tablas en función de las posturas y los esfuerzos	Riesgo elevado de error Precisión: $\pm 20\%$	Estudio de los tiempos necesario
	B. Tablas para actividades específicas		
3 <i>Análisis</i>	Evaluación a partir del registro de la frecuencia cardíaca	Riesgo medio de error Precisión: $\pm 10\%$	No es necesario
4 <i>Experto</i>	A. Medición del consumo de oxígeno	Precisión de la medida y estudio de tiempos Precisión: $\pm 5\%$	Estudio de los tiempos necesario
	B. Calorimetría directa		No es necesario

Los factores principales que afectan a la precisión son:

- Las diferencias en el equipamiento de trabajo
- Las variaciones en la velocidad de trabajo
- Las diferencias de técnicas de trabajo y capacidades profesionales

- Las diferencias de características antropométricas
- Las diferencias culturales
- Las diferencias entre observadores y sus niveles de formación
- En el nivel 3, la precisión de la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno, y la presencia de otros factores que influyen sobre la frecuencia cardiaca



NIVEL 1, DIAGNÓSTICO PRECOZ

1. Evaluación del metabolismo según la profesión

Variaciones importantes debido a diferencias de tecnología, del carácter exacto del trabajo y de la organización del trabajo...

Metabolismo para distintas profesiones

Oficio		Metabolismo (watts)
Artesanos	Albañil	200 - 290
	Carpintero de obra	200 - 310
	Vidriero	160 - 230
	Pintor	180 - 230
	Panadero	200 - 250
	Carnicero	190 - 250
	Relojero	100 - 130
Industria minera	Minero	200 - 400
	Obrero de horno a coque	210 - 310
Siderurgia	Obrero de alto horno	310 - 400
	Obrero de horno eléctrico	220 - 260

	Moldeador manual	250 - 430
	Moldeador a la máquina	190 - 300
Metalurgia	Obrero de fundición	250 - 430
	Herrero	160 - 360
	Soldador	130 - 220
	Tornero	130 - 220
	Perforador	140 - 250
	Mecánico de precisión	130 - 200
Imprenta	Impresor	125 - 170
	Encuadernador	135 - 200
Agricultura	Jardinero	200 - 340
	Conductor de tractor	150 - 200
Transporte	Conductor de coche	125 - 180
	Conductor de autobús	135 - 225
	Conductor de tranvía	145 - 210
	Conductor de grúa	115 - 260
Varios	Auxiliar de laboratorio	150 - 180
	Profesor	150 - 180
	Vendedor	180 - 220
	Secretaria	125 - 150

2. Evaluación del metabolismo por categorías

El cuadro siguiente define 5 clases de metabolismo: descanso, liviano, medio, pesado, muy pesado.

Estos calificativos se utilizan para un trabajo **SIN INTERRUPCIÓN de 8 h** (teniendo en cuenta las pausas habituales).

No tienen sentido para un trabajo ocasional de algunos momentos.

Ejemplo: Subir una escalera es un trabajo muy pesado si se debe realizar durante 8 h sin interrupción.

Es totalmente aceptable si solo dura 30 segundos.

En estas actividades, las pausas cortas ya están incluidas.

Categorías de metabolismo

Clase	Metabolismo (watts)	Ejemplos
Descanso sentado	100	
Descanso de pie	120	
Liviano	180 (130 – 240)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de secretariado • Trabajo sentado manual liviano (digitar, dibujar, coser...) • Trabajo sentado con pequeñas herramientas, inspección, montaje liviano • Conducción de automóvil, operación de un pedal... • Perforación, pulida suave de pequeñas piezas • Utilización de pequeñas máquinas manuales • Marcha lenta ocasional
Medio	300 (241 – 355)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo constante de las manos y brazos (clavado, atornillado...) • Conducción de máquinas de construcción, tractores, camiones... • Manipulación ocasional de objetos un poco pesados • Marcha más rápida (3,5 a 5,5 km / h)
Pesado	410 (356 – 465)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo intenso de los brazos y del tronco • Manipulación de objetos pesados, de materiales de construcción • Marcha rápida (5,5 a 7 km / h) • Empujar, halar carros, carretillas
Muy pesado	520 (> 466)	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo muy intenso y rápido • Excavación pesada • Subida de escaleras o escalas • Marcha muy rápida, curso (> 7km / h)

NIVEL 2, OBSERVACIÓN

1. Evaluación del metabolismo por descomposición de la tarea

Siguientes observaciones:

- El segmento de cuerpo implicado en el trabajo: las dos manos, un brazo, dos brazos, el cuerpo entero
- La carga de trabajo para este segmento de cuerpo: liviana, media, pesada
- La postura de cuerpo: en reposo, de rodillas, en cuclillas, de pie, de pie inclinado

Se trata de nuevo de liviano, medio y pesado en el sentido de una duración de trabajo de 8h.

La carga debe apreciarse según las capacidades promedio de los trabajadores y **NO** en función de las capacidades de un trabajador particular, ni tampoco, del observador.



Carga de trabajo (en watts) para un trabajador sentado, en función de la intensidad del trabajo y la zona corporal implicada

Zona corporal implicada		Trabajo		
		Liviano	Medio	Pesado
Las 2 manos	Media	125	155	170
	Gama	< 135	135-160	> 160
Un brazo	Media	160	200	235
	Gama	< 180	180-215	> 215
Los 2 brazos	Media	215	250	290
	Gama	< 235	235-270	> 270
El cuerpo	Media	325	440	600
	Gama	< 380	380-510	> 510



Tabla mas simple, con valores redondeados

Zonas corporales implicadas	Trabajo		
	Liviano	Medio	Pesado
Las manos	120	150	170
Un brazo	180	220	250
Los dos brazos	240	270	300
El cuerpo	340	460	620

Adición debido a la postura principal del cuerpo

Postura del cuerpo	Metabolismo
Sentado	0
De rodillas	20
En cuclillas	20
De pie	25
De pie, inclinado	35

2. Evaluación del metabolismo por actividades típicas

Actividades	M (watts)
Sueño	70
Descanso sentado	100
Descanso de pie	125
Marcha sobre camino plano, sólido, de nivel	
1. Sin carga a 2 km / h	200
a 3 km / h	250
a 4 km / h	300
a 5 km / h	360

2. Con carga 10 kg de carga, 4 km / h	330
30 kg de carga, 4 km / h	450
Marcha sobre camino plano, sólido, en subida	
1. sin carga 5° inclinación, 4 km / h	320
15° inclinación, 3 km / h	380
25° inclinación, 3 km / h	540
2. con carga 20 kg 15° inclinación, 4 km / h	490
25° inclinación, 4 km / h	740
Marcha en bajada a 5 km / h, sin carga 5° inclinación	240
15° inclinación	250
25° inclinación	320
Escala 70° velocidad 11,2 m de desnivel por minutos:	
sin carga	520
20 kg de carga	650
Empujar o extraer vagonetes, 3,6 km / h, camino plano, sólido fuerza de empuje:	
12 kg	520
fuerza de empuje: 16 kg	670
Llevar una carretilla en camino plano a 4,5 km/h, rueda inflada, 100 kg de carga	
Limar hierro 42 golpes / min	410
60 golpes / min	180
	340
Trabajo con martillo (2 manos), peso del martillo: 4,4 kg, 15 golpes / min	520
Carpintería aserrado a la mano	400
aserrado a la máquina	180
cepillado a la mano	540

Albañilería, 5 ladrillos / min	310
Atornillada	180
Cavar una trinchera	520
Trabajo con herramienta mecánica	
liviano (ajuste, montaje)	180
medio (cargamento)	250
pesado	380
Trabajo con una máquina manual	
liviano (pulido liviano)	180
medio (pulimento)	290
pesado (perforación pesada)	410

Evaluación del metabolismo medio durante un trabajo variable

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i t_i \quad (1)$$

- M Metabolismo medio del ciclo de trabajo, en watts
- M_i Metabolismo de la actividad i , en watts
- t_i Duración de la actividad i , en segundos
- T Duración total, en segundos, igual a la suma de las duraciones parciales t_i



El registro de las actividades profesionales y de la duración de las actividades durante un día laboral o durante un período particular puede simplificarse, empleando el Diario descrito al cuadro siguiente

Diario de registro de las actividades

Fecha						
Trabajador						
Lugar de trabajo						
Hora	Minutos	Número de la tarea				
		1	2	3		n
8	43		X			
8	45	X				

Procedimiento:

- Elegir a un operador representativo
- Determinar una fase de trabajo, interesándose por su representatividad
- Observar el trabajo de este operador durante la fase determinada
- Determinar los componentes de la tarea y el metabolismo correspondiente, por medio de los cuadros anteriores
- Numerar estos componentes y preparar el diario
- Registrar el número del componente en cuanto comience

Después de la observación:

- Calcular el tiempo transcurrido para cada componente de la tarea
- Calcular el metabolismo medio por la formula arriba descrita

Tarea:..... Fecha:..... Observador:.....

Componentes		M _i W	T _i s	M _i x T _i
N°	Descripción			
1	Tarea 1	M ₁		
..				
i	Tarea i	M _i		
..				
n	Tarea n	M _n		
	Suma			
Metabolismo promedio				

Casos de los trabajadores no "normales"

- Para el mismo trabajo y en las mismas condiciones de trabajo, el metabolismo puede variar cerca de ± un 5% de una persona a otra
- In situ, es decir, cuando la actividad no es exactamente la misma cada vez, una variación puede llegar a ser hasta más de un 20%.

Pues, no se justifica tener en cuenta las diferencias de tamaño, edad, sexo... de los trabajadores.

La consideración del peso del trabajador puede justificarse solamente para actividades que implican movimientos de todo el cuerpo, como caminar, elevarse, levantar un peso...

NIVEL 3, ANÁLISIS

1. Estimación del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca (en latidos por minuto, lpm) en un momento dado puede considerarse como una suma de varios componentes.

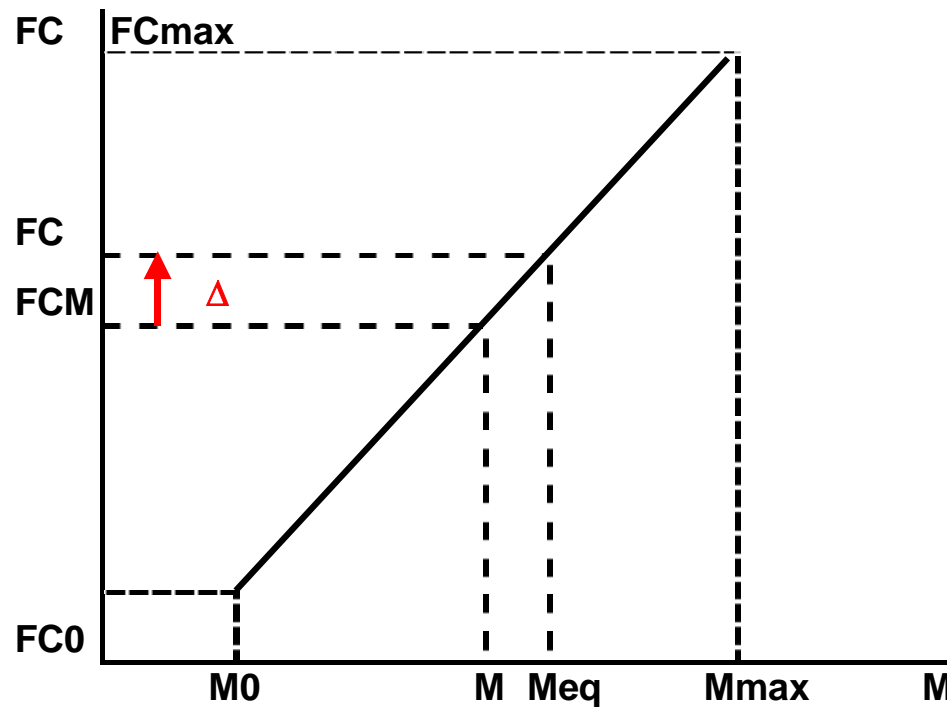
$$FC = FC_0 + \Delta FC_M + \Delta FC_S + \Delta FC_T + \Delta FC_N + \Delta FC_E$$



dónde

- FC_0 : Frecuencia cardiaca en reposo, acostado, en condiciones térmicas neutras
- ΔFC_M : Aumento de FC debido a carga muscular dinámica, en condiciones neutras
- ΔFC_S : Aumento de FC debido al trabajo muscular estático.
 - Este componente depende de la relación entre la fuerza utilizada y la fuerza voluntaria máxima del grupo muscular en funcionamiento
- ΔFC_T : Aumento de FC debido a la carga térmica.
- ΔFC_N : Aumento de FC debido a la carga mental
- ΔFC_E : Componente residual de FC debido, por ejemplo, a los efectos respiratorios, al ritmo circadiano, a la deshidratación.

Predicción de la capacidad máxima de trabajo y de la relación (FC - M) individual



- FC y metabolismo al descanso:
 - Metabolismo en reposo sentado $M_0 = 100 \text{ W}$ (hombres y mujeres).
 - FC en reposo sentado $FC_0 = 75 \text{ lpm}$ o FC_{99} superada durante un 99% del tiempo de observación
- FC máxima y capacidad máxima de trabajo (CMT)
 - $FC_{\max} = 205 - 0.62 \text{ Edad} = \mathbf{(220 - Edad)}$
 - $CMT = (18 - 0.1 * \text{Edad}) \text{ Peso}$ (hombres)
 - $(14.5 - 0.1 * \text{Edad}) \text{ Peso}$ (mujeres)
 - Peso "normal"
 - $P = 0.75 \text{ Estatura} + 0.31 \text{ Edad} - 65$ (hombres)
 - $P = 0.64 \text{ Estatura} + 0.31 \text{ Edad} - 55$ (mujeres)
 - y peso ideal (nutricionistas):
 - $P = (3 \text{ Estatura} - 250)/4$ (hombres y mujeres)
- $FC = a M + b$
 dónde $a = (FC_{\max} - FC_0)/(CMT - M_0)$
 $b = FC_0 - a \cdot M_0$

Validez

- CMT, FC_{\max} , FC_0 et M_0 aproximados.
 - Relación FC-M válida estrictamente para valores de FC superiores a 110-120 lpm.
 - Mas bajo, efectos emocionales u otros
 - Relación depende de los diferentes músculos utilizados y, por consecuencia, si hay trabajo de manos o de piernas.
 - Siempre, como explicado antes:
 - Influencia de las condiciones térmicas de trabajo ΔFC_T
 - Influencia de los esfuerzos estáticos como el sostenimiento de objetos pesados, los esfuerzos de tracción... ΔFC_S
 - Influencia de los otros componentes ΔFC_N y ΔFC_E
- ➔ **Metabolismo equivalente:** metabolismo que, *sobre la bicicleta ergométrica*, en una prueba de esfuerzo, había dado lugar al mismo valor de FC que la observada en el puesto de trabajo.

**Relación Metabolismo (en watts) – Frecuencia cardiaca,
predicha en función de la edad y el peso del trabajador (mujeres y hombres)**

Edad (años)	Peso				
	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
<i>Mujeres</i>					
20	5.2 FC-270	6.1 FC-324	6.8 FC-378	7.6 FC-427	8.1 FC-473
30	5.0 FC-257	6.0 FC-311	6.7 FC-361	7.2 FC-410	7.9 FC-457
40	4.9 FC-244	5.6 FC-165	6.3 FC-346	7.0 FC-392	7.7 FC-439
50	4.7 FC-229	5.4 FC-279	6.1 FC-328	6.7 FC-373	7.4 FC-418
<i>Hombres</i>					
20	6.7 FC-361	7.6 FC-428	8.5 FC-491	9.4 FC-553	10.1 FC-610
30	6.5 FC-355	7.4 FC-419	8.3 FC-482	9.2 FC-542	9.9 FC-600
40	6.3 FC-346	7.2 FC-410	8.1 FC-472	9.0 FC-531	9.7 FC-587
50	6.1 FC-335	7.2 FC-400	7.9 FC-461	8.8 FC-518	9.5 FC-574

NIVEL 4, EXPERTO

Evaluación del metabolismo por la medición del consumo de oxígeno

Método

- Extremadamente difícil a aplicar



- Requiere aparatos muy costosos (>150 millones de pesos) incómodos y de uso delicado
- Requiere personal especializado
- Problemas de aceptabilidad por el trabajador (porte de la máscara)
- Modificaciones del comportamiento de trabajo
- Modificaciones del comportamiento fisiológico como la hiperventilación
➔!!!! Medición exacta de un metabolismo no representativo !!!!

Expert

Análisis

Observación

Diagnóstico precoz

INTERPRETACIÓN: SEVERIDAD DEL TRABAJO

OBJETIVOS

Los interrogantes:

- El conjunto del trabajo, sobre la duración total de trabajo, es o no es demasiado pesado?
- Algunas fases de trabajo son o no son demasiado pesadas?
 - Para un trabajador promedio?
 - Para cada trabajador en particular?

La respuesta:

Si se lleva en primer lugar un estudio global ergonómico de la situación de trabajo sobre:

- El procedimiento real (en comparación con el procedimiento teórico) de trabajo.
- El contexto de la situación de trabajo
- Otros aspectos que merecen tanta atención (esfuerzos estáticos, carga mental, presión de tiempo...)
- Opiniones de los trabajadores sobre el esfuerzo del trabajo en su conjunto y por algunas operaciones.

La metodología general de análisis de la carga de trabajo se basa en la colecta de cinco tipos de información.

1. Cuáles son las aptitudes físicas del trabajador?
2. Qué hace el trabajador a un momento preciso?
3. Cómo hace el trabajador? ¿Cuál es su postura? ¿Cuáles son sus movimientos?
- 4.Cuál es el costo fisiológico?
5. Que piensan los trabajadores?

El ejemplo tomado a continuación ilustra un análisis realizado con un trabajador de un puesto de montaje de una industria automotriz.

1. Antes de iniciar el registro cardiaco

- Observación de la secuencia de trabajo durante todo el periodo de trabajo
- Determinación de un periodo de tiempo representativo

- Selección de un trabajador representativo promedio

2. Características personales del trabajador (Hombre)

	Edad	40 años
	Estatura	175 cm
	Peso	83 kg
	Peso ideal	69 kg
	Peso normal	78 kg
	Exceso ponderado	5kg
	No fuma, no hace deporte	
	Peso tenido en cuenta	83 kg
FC _{max}	Frecuencia cardiaca máxima	181 lpm
CMT	Capacidad máxima de trabajo	1120 W

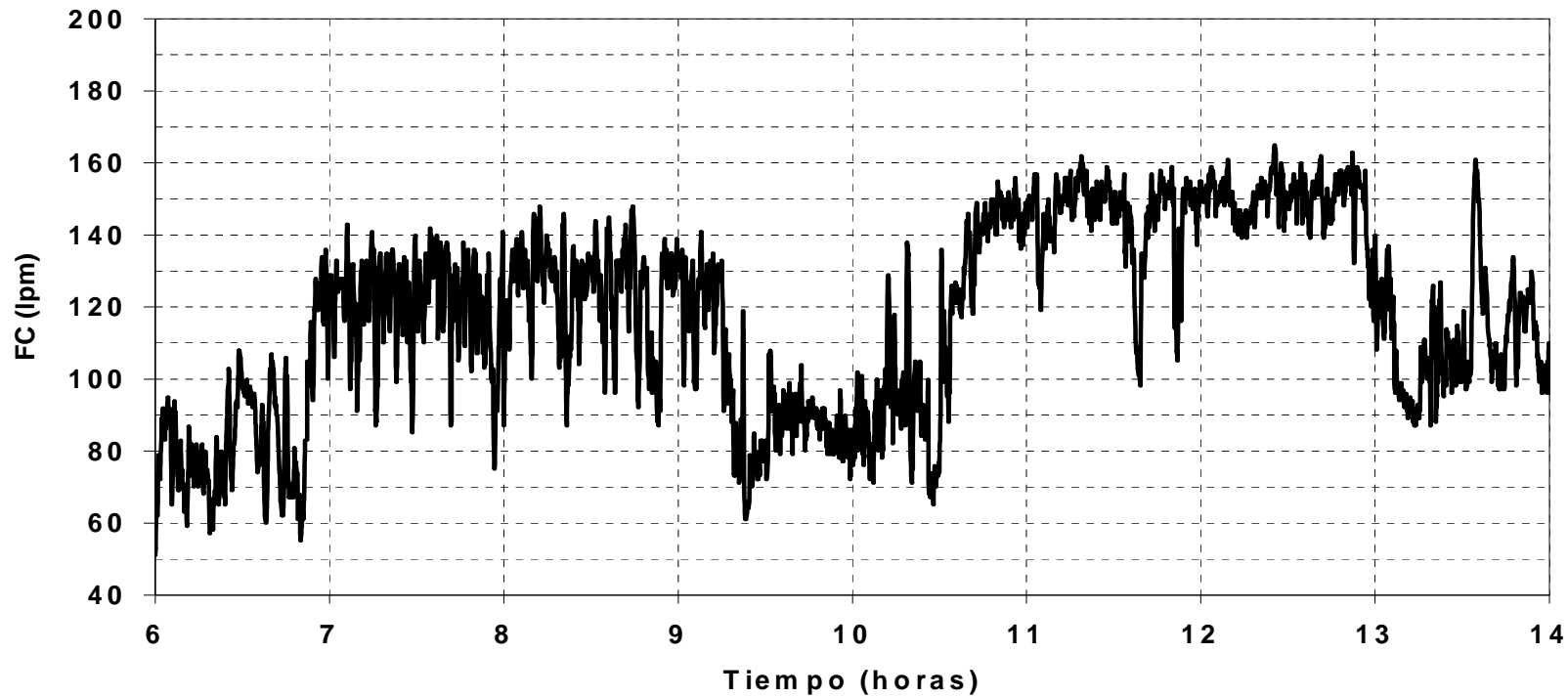
3. Registro de la frecuencia cardiaca

- La primera vez, durante las 8 horas de trabajo con un trabajador representativo
- Después, durante fases específicas y con diferentes trabajadores



Perfil de FC (minuto por minuto, lpm) en el puesto de trabajo





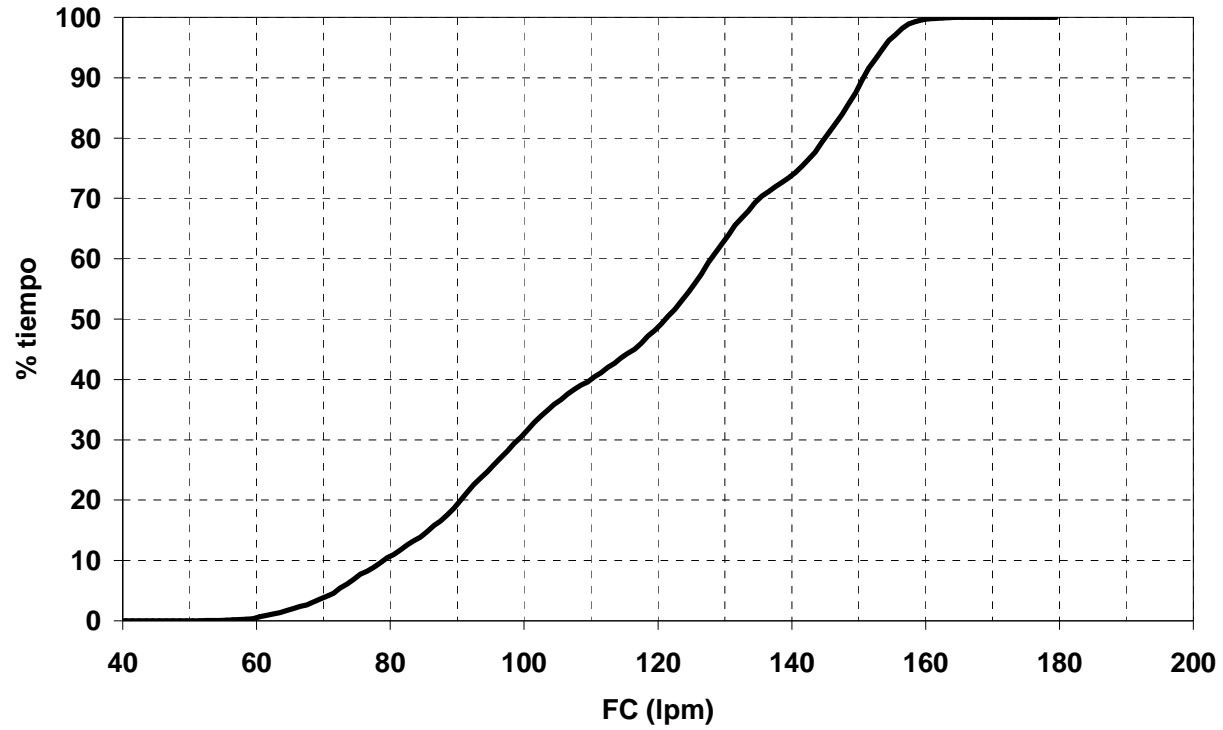
4. Identificación de las fases mas criticas

- Determinación de la naturaleza del trabajo realizado durante estas fases
- Determinación de las prioridades de acciones específicas de mejoramiento, con mediciones de la FC específicas y con diferentes trabajadores.

5. Estudio estadístico

- Del conjunto
- O de las fracciones del registro de FC, correspondiente a las fases criticas identificadas anteriormente, para determinar la distribución de las FC y el valor promedio FC_m .

Histograma acumulado de los valores de frecuencia cardiaca en la jornada de trabajo.



Este histograma da el porcentaje de tiempo durante el cual un valor cualquiera de FC ha sido sobrepasado.

1. Interpretación

A partir de las características individuales del trabajador observado

d	Duración de la fase de trabajo	480 min
FC ₁	Valor sobrepasado durante 1% del tiempo	156 lpm
FC ₁₀	Valor sobrepasado durante 10% del tiempo	151 lpm
FC ₉₀	Valor sobrepasado durante 90% del tiempo	79 lpm
FC ₉₉	Valor sobrepasado durante 99% del tiempo	63 lpm
	Metabolismo correspondiente a FC ₉₉	105 W
	Relación FC – M	FC = 0,116M + 50.8
Alternativa FC ₀	Descanso	80 lpm
	M ₀	105 W
FC= f(M)		FC = 0,100M + 69.5

Interpretación global de la carga de trabajo realizada a partir de dos hipótesis de FC de descanso.

		63 lpm	80 lpm
$M_{33\%} = 0.33 \cdot \text{CMT}$	Metabolismo máximo compatible para 8 horas de trabajo	370 W	
FC _{33%}	frecuencia cardiaca correspondiente	94 lpm	106 lpm
% tiempo con FC > FC _{33%}		75 %	62 %
FC _m	frecuencia cardiaca promedio durante esta fase	112	
CCA = FC _m – FC ₉₉	Costo cardiaco absoluto	49	32
CCR = CCA / (FC _{max} – FC ₉₉)	Costo cardiaco relativo	41.5%	31.7%
M _{eq}	Metabolismo equivalente correspondiente a FC _m	526 W	426 W
%CMT = 100 · M _{eq} / CMT	Porcentaje promedio de utilización de la capacidad máxima de trabajo durante esta fase	47%	38%
d _L	Duración límite de trabajo a este % de CMT (Bink)	200 min	378 min
D = 100 d / d _L	Dosis de exposición durante esta fase	240 %	126 %

REFERENCIAS

1. ISO 8996 (2004) Determinación del metabolismo energético, Organización Internacional de Normalización, Ginebra.

2. Malchaire J., Mairiaux PH (1985) Validez de la predicción del consumo máximo de oxígeno. Arch. Mal. Prof., 46,.6: 379-384.
3. Malchaire J. (1988) Metodología general de interpretación de los registros continuos de frecuencia cardiaca a los puestos de trabajo. Cah. Méd. Semana., Vuelo XXV, 4: 181-186.
4. Bink B. , The physiological working capacity in relation to working time and age. Ergonomics, 1992, 5, 25-28.
5. Gillet Y. , Fréquence cardiaque et consommation d'oxygène au cours d'épreuves d'effort. Populations masculine et féminine. Observations et prédictions. Mémoire de Licence en Médecine du Travail. Bruxelles, Université catholique de Louvain, 1984.