

Fisiología del Trabajo: Aportes al control de emergencias industriales

Esteban Oñate – Elías Apud



**Departamento de Ergonomía
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad de Concepción**

2020

EMERGENCIAS

- Desde un punto de vista ergonómico, el trabajo de las brigadas de emergencia *es uno de los más difíciles de adaptar* para lograr eficiencia, sin someter a los brigadistas a riesgos para su salud física y mental
- Son situaciones impredecibles, que pueden ocurrir en cualquier momento y alcanzar magnitudes muy diversas



Tecnología y eficiencia

- **Ha habido avances tecnológicos importantes para la detección y control de emergencias**
- **Sin embargo, independiente de la eficiencia en la gestión de recursos, es necesario considerar que en cada lugar de trabajo hay seres humanos, de cuyo esfuerzo dependerá el que se pueda ejecutar con prontitud estas difíciles y peligrosas tareas.**



- **Existen numerosas inquietudes sobre los límites de exigencias y requerimientos que tienen las brigadas de emergencia, que requieren ser estudiadas en forma sistemática.**
- **Entre las preguntas más relevantes se puede mencionar:**

¿cuáles son las aptitudes específicas que deben tener las personas que se integran a cada tarea en el control de emergencias?

¿la organización debe tener preparación para que los brigadistas mantengan una buena salud física y mental, que les permita enfrentarse a su trabajo en forma eficiente y segura?

¿qué pausas y relevos requieren los brigadistas para realizar un trabajo eficiente y sin riesgos en el menor tiempo posible?

¿cuánto tiempo puede permanecer una persona trabajando bajo las adversas condiciones de una emergencia?

¿qué número de trabajadores deben integrar las brigadas industriales?

¿qué cantidad de energía y nutrientes, y cuáles son los alimentos más apropiados para el brigadista durante la emergencia?

¿son las herramientas, máquinas, vestuario, implementos de seguridad y accesorios los más adecuados desde un punto de vista ergonómico?

¿cuáles son las aptitudes específicas que deben tener las personas que se integran a cada tarea en el control de emergencias?

¿la organización debe tener preparación para que los brigadistas mantengan una buena salud física y mental, que les permita enfrentarse a su trabajo en forma eficiente y segura?

¿qué pausas y relevos requieren los brigadistas para realizar un trabajo eficiente y sin riesgos en el menor tiempo posible?

¿cuánto tiempo puede permanecer una persona trabajando bajo las adversas condiciones de una emergencia?

¿qué número de trabajadores deben integrar las brigadas industriales?

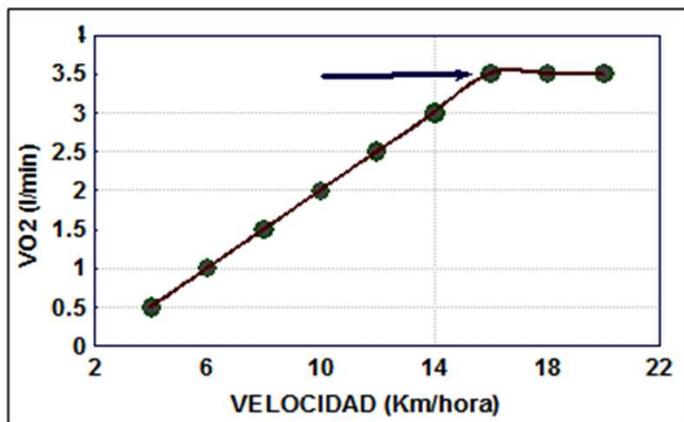
¿qué cantidad de energía y nutrientes, y cuáles son los alimentos más apropiados para el brigadista durante la emergencia?

¿son las herramientas, máquinas, vestuario, implementos de seguridad y accesorios los más adecuados desde un punto de vista ergonómico?

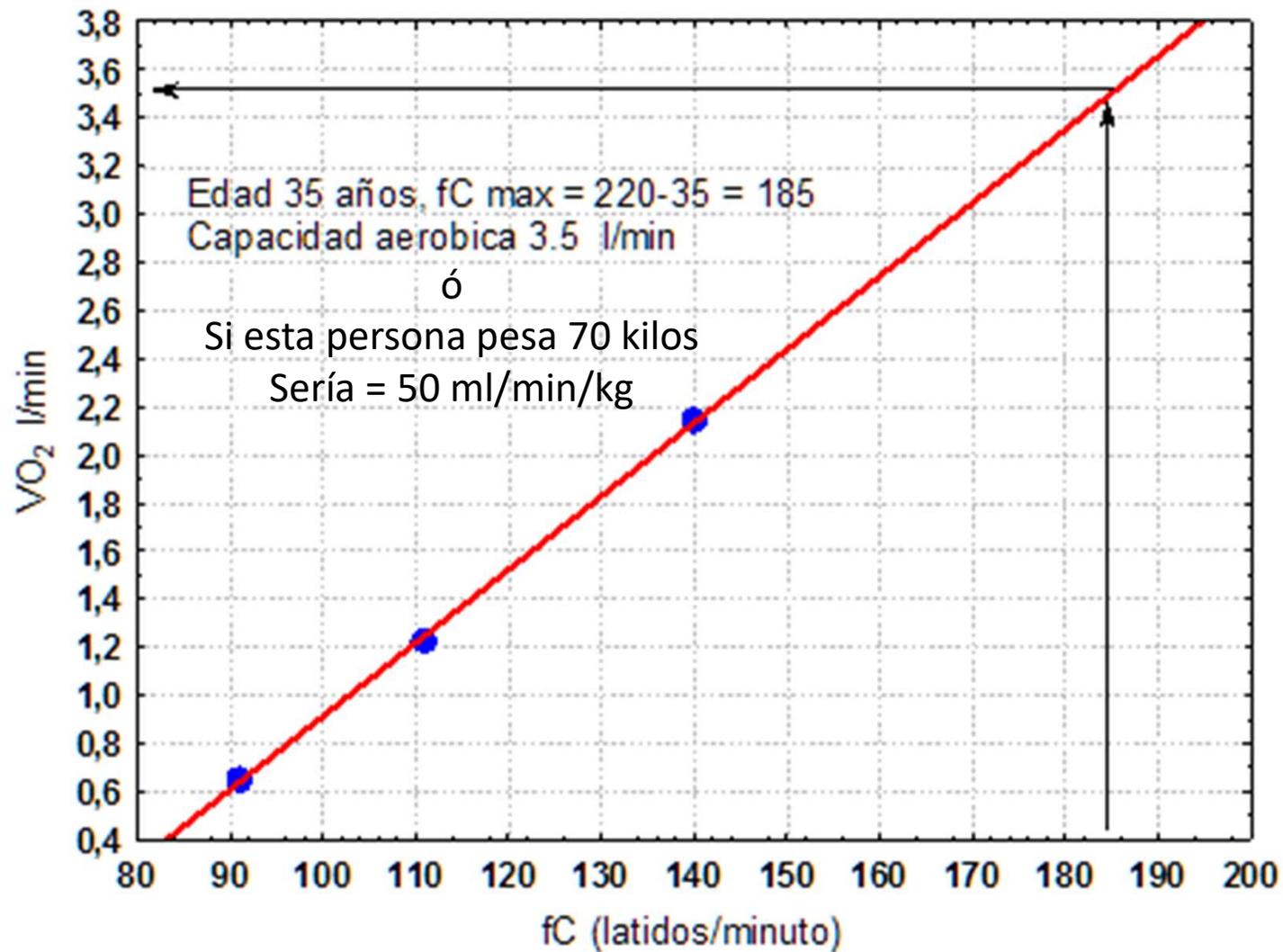
Estudio comparativo entre dos brigadas industriales

- **Determinar la aptitud física de brigadistas industriales de dos instalaciones de una empresa forestal.**
- **Realizar una comparación de resultados de respuesta fisiológica con otras brigadas industriales.**
- **Establecer la condición física óptima para el control de emergencias a las que están expuestas las instalaciones de la empresa forestal.**

CAPACIDAD AEROBICA

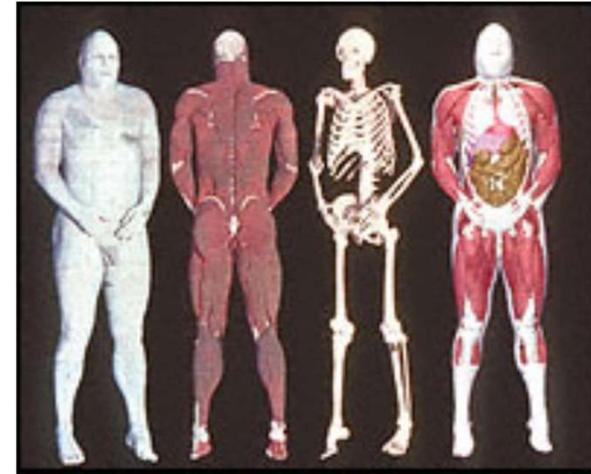


Método de extrapolación de Maritz



Composición corporal

<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>	<i>Clasificación</i>
5 a 10 %	15 a 20 %	Delgado
10 a 15 %	20 a 25 %	Corriente
15 a 20 %	25 a 30 %	Sobrepeso
Sobre 20 %	Sobre 30 %	Obeso



RESULTADOS

Resultados del estudio de brigadistas Planta #1

Planta #1					
Variable	n	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Est.
Edad (años)	57	37,5	22,0	57,0	8,1
Peso (Kg)	57	74,2	60,5	99,0	8,2
Talla cm	57	1,7	1,6	1,9	0,1
Capacidad aeróbica (l/min)	57	3,1	2,0	4,9	0,6
Capacidad aeróbica (ml/min/kg)	57	41,4	27,6	60,1	7,0
% grasa	57	22,3	14,0	30,3	3,6
Kg grasa	57	16,6	9,3	23,3	3,6
Kg masa libre de grasa (MLG)	57	57,6	45,0	76,2	5,9
Índice de masa corporal (IMC)	57	26,1	20,1	32,3	2,7
MLG/metro de estatura	57	34,1	28,5	42,8	3,0

- **Resultados de brigadistas de Planta #2**

Planta #2					
Variable	n	Promedio	Minino	Máximo	Desv. Est.
Edad (años)	21	44,0	33,0	63,0	10,0
Peso (Kg)	21	81,4	64,0	105,0	11,7
Talla cm	21	170,1	161,0	183,0	6,1
Capacidad aeróbica (l/min)	21	2,7	1,9	3,5	0,5
Capacidad aeróbica (ml/min/kg)	21	33,0	22,7	42,7	6,0
% grasa	21	26,2	20,1	32,8	3,3
Kg grasa	21	21,6	12,9	34,4	5,2
Kg masa libre de grasa (MLG)	21	59,9	49,9	78,9	7,5
Índice de masa corporal (IMC)	21	28,0	22,4	33,1	2,6
MLG/metro de estatura	21	35,1	30,3	43,1	3,2

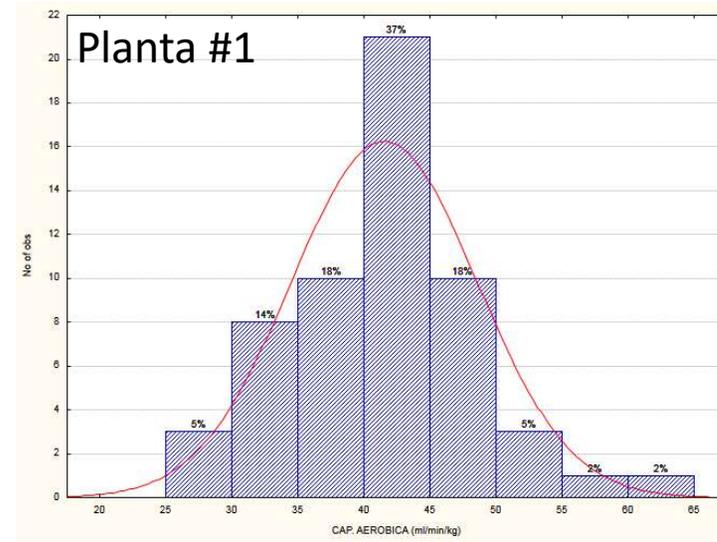
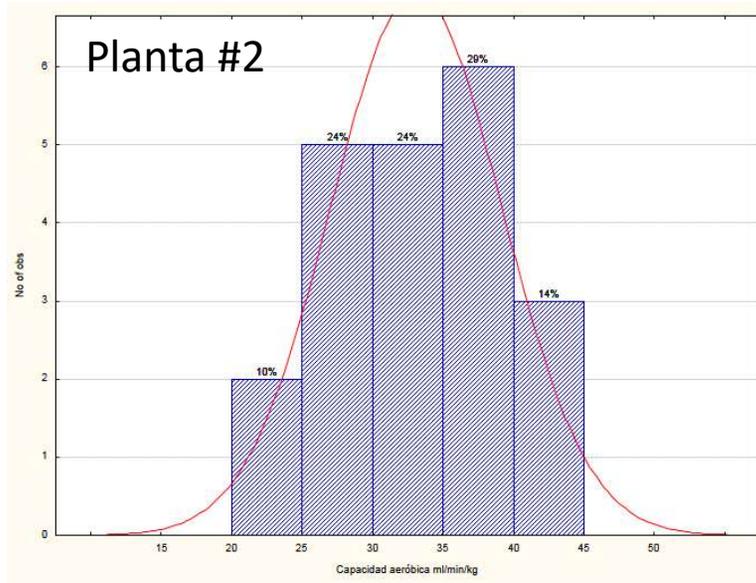
Análisis estadístico de las diferencias entre las brigadas de la Planta #1 y Planta #2

Variable	Promedio Planta #1	Promedio Planta #2	t-value	df	p
Capacidad aeróbica (ml/min/kg)	41,4	33,0	4,89871	76	0,000005
% Grasa	22,3	26,2	-4,41321	76	0,000033

Comparación de la capacidad aeróbica y del porcentaje de masa grasa de los trabajadores de Planta #1 y Planta#2 clasificados por grupos de edad.

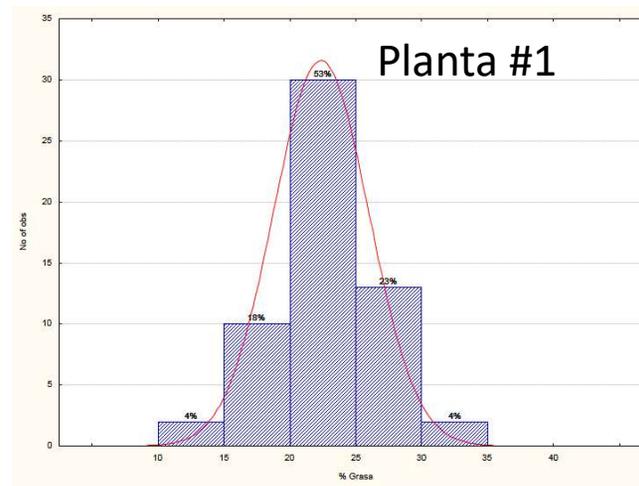
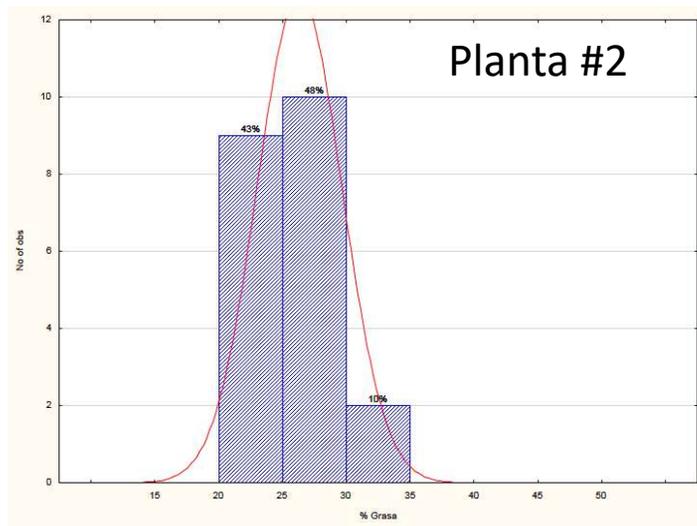
Origen	Edad (años)	n	Capacidad Aeróbica (ml/min/kg) Promedio	Capacidad Aeróbica (ml/min/kg) Desv. Est.	% Grasa Promedio	% Grasa Desv. Est.
Planta #2	20 a 29	0	-	-	-	-
Planta #2	30 a 39	7	36,6	5,9	23,2	2,0
Planta #2	40 a 49	8	33,0	5,0	27,5	3,5
Planta #2	Más de 50	6	28,6	5,3	28,1	1,3
Planta #1	20 a 29	9	44,4	5,3	18,9	3,1
Planta #1	30 a 39	24	42,8	7,1	21,4	2,9
Planta #1	40 a 49	19	39,1	6,5	24,4	3,4
Planta #1	Más de 50	5	38,2	8,7	24,4	2,0

Capacidad aeróbica



Tomando un nivel arbitrario de referencia para la capacidad aeróbica de 35 ml/min/kg de peso, **58%** de los brigadistas de la Planta #2 no alcanzan ese nivel, mientras que sólo un **19%** de los trabajadores de la Planta #1 no llegan a esta cifra.

PORCENTAJE DE MASA GRASA

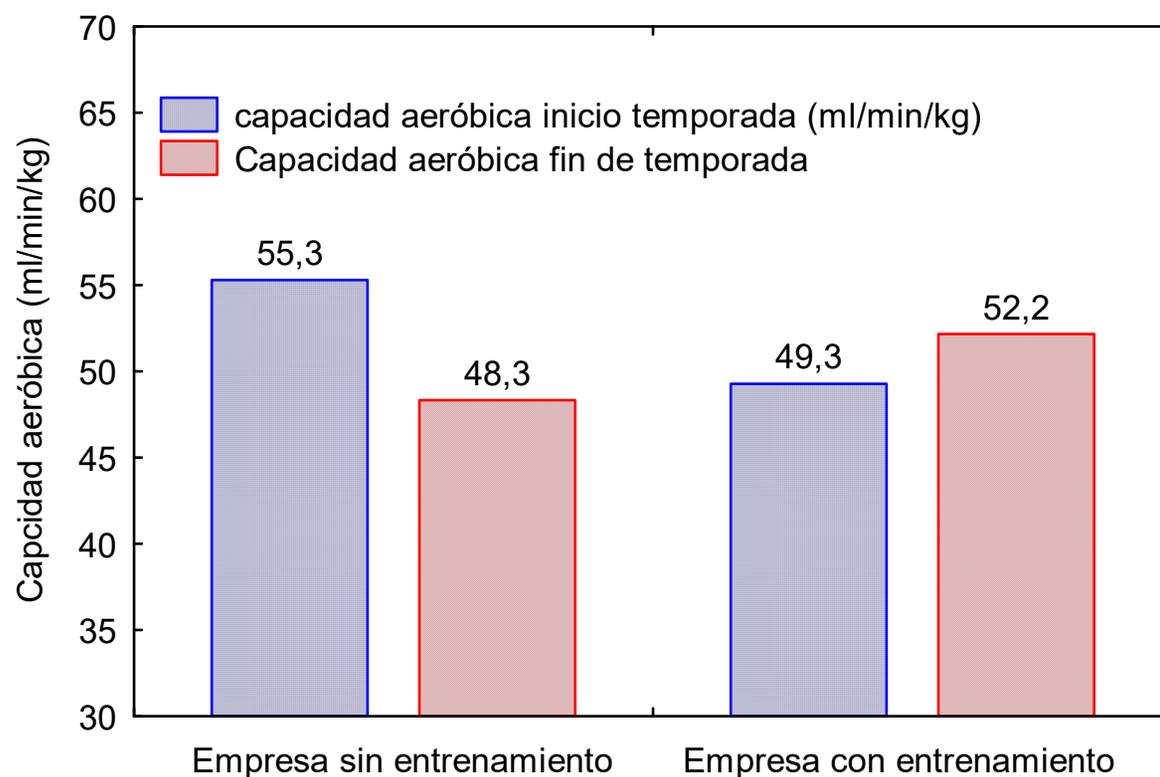


58% de los trabajadores de la Planta #2 están en un nivel superior a 25% y no hay trabajadores con menos de 20% de masa grasa. En otras palabras todos tienen algún grado de sobrepeso. En el caso de la Planta #1, la cifra de trabajadores con más de 25% de grasa se reduce a **27%** y hay un 22% de brigadistas con menos de 20% de grasa corporal.

Capacidad aeróbica y % de masa grasa de una brigada industrial que no realizaba actividad física sistemática, clasificada por grupos etarios

Rango edad (años)	% Grasa Promedio	% Grasa Desv. Est.	Capacidad aeróbica ml/min/kg Promedio	Capacidad aeróbica ml/min/kg Desv. Est.
30 a 39	24,4	4,50	31,8	2,7
40 a 49	30,3	5,00	29,7	5,1
50 a 59	28,1	3,24	27,9	3,6
30 a 59	28,5	4,88	29,7	4,3

Capacidad aeróbica, expresada en mililitros de oxígeno por kilogramo de peso corporal a comienzos y fines de temporada, en brigadistas de dos empresas forestales

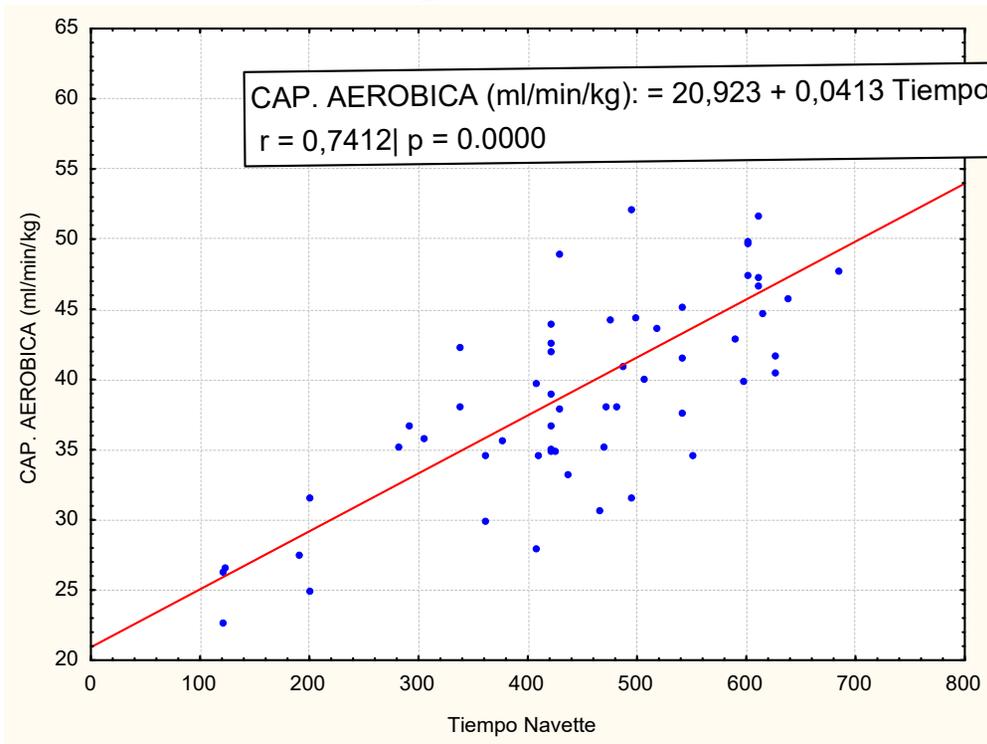


Avanzando hacia un estándar de referencia para la selección de brigadistas industriales

- . Clasificación de la capacidad aeróbica por kilogramo de peso corporal de una muestra de 5387 trabajadores chilenos

Rango de edad	Baja	regular	<i>Buena</i>	Muy buena	Excelente
17 a 19	Menor a 37	37 a 45	<i>46 a 51</i>	52 a 56	Sobre 57
20 a 29	Menor a 36	36 a 43	<i>44 a 49</i>	50 a 54	Sobre 55
30 a 39	Menor a 33	33 a 39	<i>40 a 45</i>	46 a 50	Sobre 51
40 a 49	Menor a 30	30 a 36	<i>37 a 41</i>	42 a 47	Sobre 48
Más de 50	Menor a 24	24 a 34	<i>35 a 38</i>	39 a 41	Sobre 42

Relación entre la capacidad aeróbica y el test de Navette.



CAPACIDAD AEROBICA = 20,92 + 0,041 x Tiempo Navette en segundos
(ml/min/kg)

Relación entre la capacidad aeróbica y el test de Navette.

Considerando el alto número de trabajadores que integran las brigadas de la empresa, los resultados avalan el uso del test de Navette para selección, pero particularmente para seguimiento y control.

No obstante, es fundamental que se apliquen criterios flexibles, particularmente cuando las pruebas no se hacen tomando un mínimo resguardo con respecto a la condición en que está la persona el día de la evaluación y el ambiente físico imperante al momento de efectuar el test.

Clasificación por % de grasa de una muestra de 5454 trabajadores

Edad	n	Percentil 5	Percentil 25	Promedio	Percentil 75	Percentil 95
15 a 19	745	9,1	12,3	15	18,0	22,8
20 a 29	2933	9,5	13,2	16	19,3	23,3
30 a 39	1215	13,3	18,0	20	23,0	26,1
40 a 49	472	16,3	21,6	24	26,9	31,6
50 a 59	89	19,6	24,4	26	29,4	34,6
Límite más alto aceptable para su edad					Sobrepeso Recomendación control peso	Obeso

Clasificación por IMC de una muestra de 6003 trabajadores chilenos

Edad	IMC n	Percentil 5	Percentil 25	Promedio	Percentil 75	Percentil 95
15 a 19	820	19,5	21,6	23	24,9	28,2
20 a 29	3286	20,6	22,7	25	26,3	29,7
30 a 39	1307	21,5	24,3	26	28,2	31,7
40 a 49	494	22,2	24,9	27	29,2	32,8
50 a 59	96	23,9	26,3	28	30,3	33,7
<p>Límite más alto aceptable para su edad</p>					<p>Sobrepeso Recomendación control peso</p>	<p>Obeso</p>

Conclusiones y Recomendaciones

- **El estudio permite concluir que, tanto en lo referente a capacidad aeróbica como a composición corporal, la brigada de la Planta #1 tiene una mejor aptitud física que la brigada de la Planta #2 que recién comienza con un programa de entrenamiento.**
- **Los resultados permiten recomendar que las brigadas participen en programas de entrenamiento regulares dirigidos por profesionales idóneos.**

Conclusiones y Recomendaciones

También sería recomendable reforzar la educación para una buena alimentación, ya que la tendencia al sobrepeso y obesidad es un problema que incide en la respuesta a trabajos de altas demandas físicas.

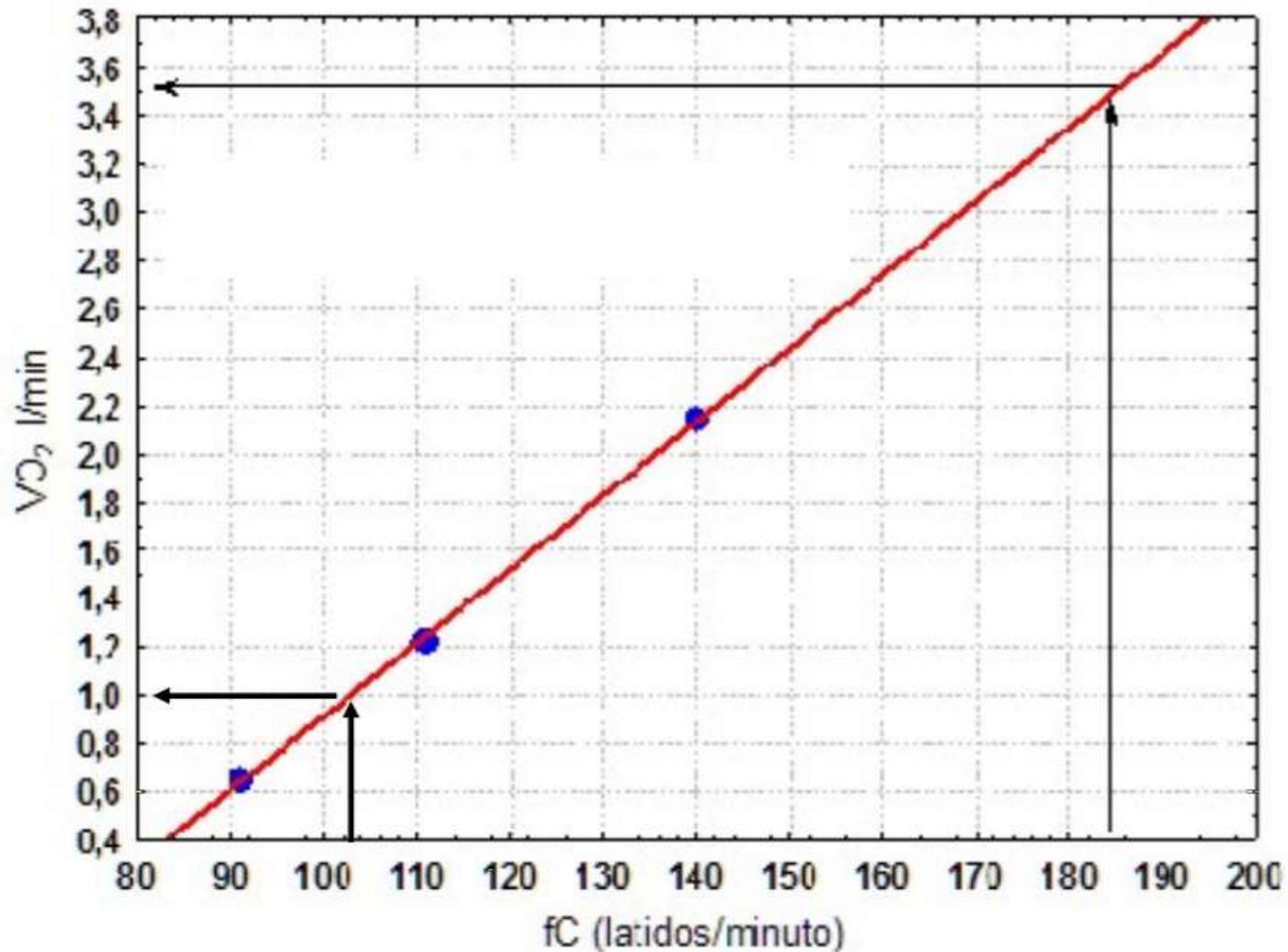
Por último, es fundamental realizar estudios en distintos simulacros para determinar las demandas de cada uno de ellos y mejorar los criterios de selección y control propuestos.

FRECUENCIA CARDIACA

- **Se ha utilizado para determinar la carga física**



Relación lineal y directamente proporcional entre frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno



% Carga cardiovascular



1 (Haskell, 1971; CDC Atlanta, 2015)

CARGA CARDIOVASCULAR¹

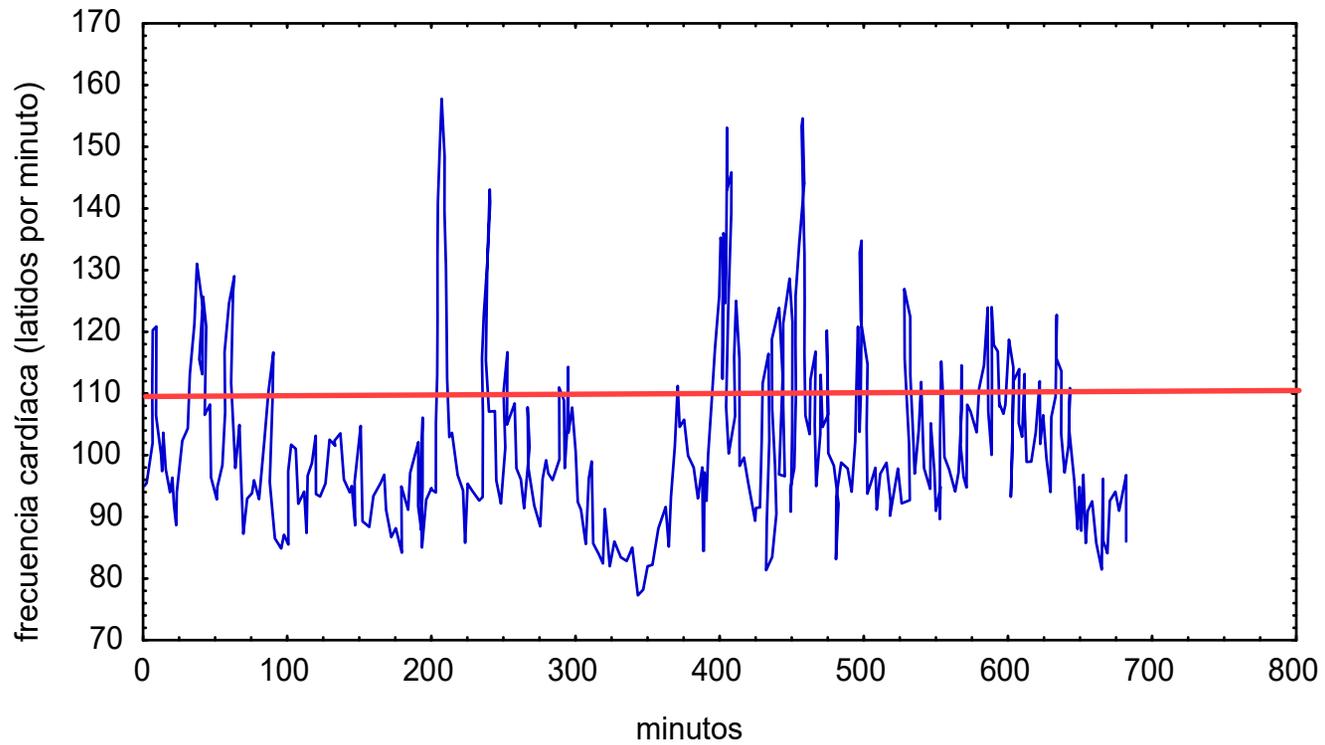
$$\% \text{ CC} = \frac{\text{fC TRABAJO} - \text{fC REPOSO}}{\text{fC MÁXIMA} - \text{fC REPOSO}} \times 100$$

- **DONDE:**
- **CC = CARGA CARDIOVASCULAR**
- **fC = FRECUENCIA CARDIACA**

Ejemplo de calculo: Trabajador minero



operador flotacion



Frecuencia Cardíaca	Promedio	Mínimo-Máximo	Desviación estándar
Jornada	101	77-158	13.2
Trabajo AM	100	81-158	12.5
Trabajo PM	105	82-156	12.6

Ejemplo de cálculo del % de carga cardiovascular:

Trabajador de 30 años

Frecuencia cardiaca (latidos por minuto):

Trabajo= 101

Reposo = 60

Máxima estimada= 220- Edad = 190

$$\% \text{ CC} = \frac{\text{fC TRABAJO} - \text{fC REPOSO}}{\text{fC MÁXIMA} - \text{fC REPOSO}} \times 100$$

$$\% \text{ CC} = \frac{101 - 60}{190 - 60} \times 100$$

$$\% \text{ CC} = 31.5\%$$

EQUIPO PARA LA MEDICION DE LA FRECUENCIA CARDIACA



Simulacro de rescate de operador de camión de extracción inconsciente dentro de la cabina de un camión de extracción en zona de aparcamiento a 4.300 m.s.n.m.

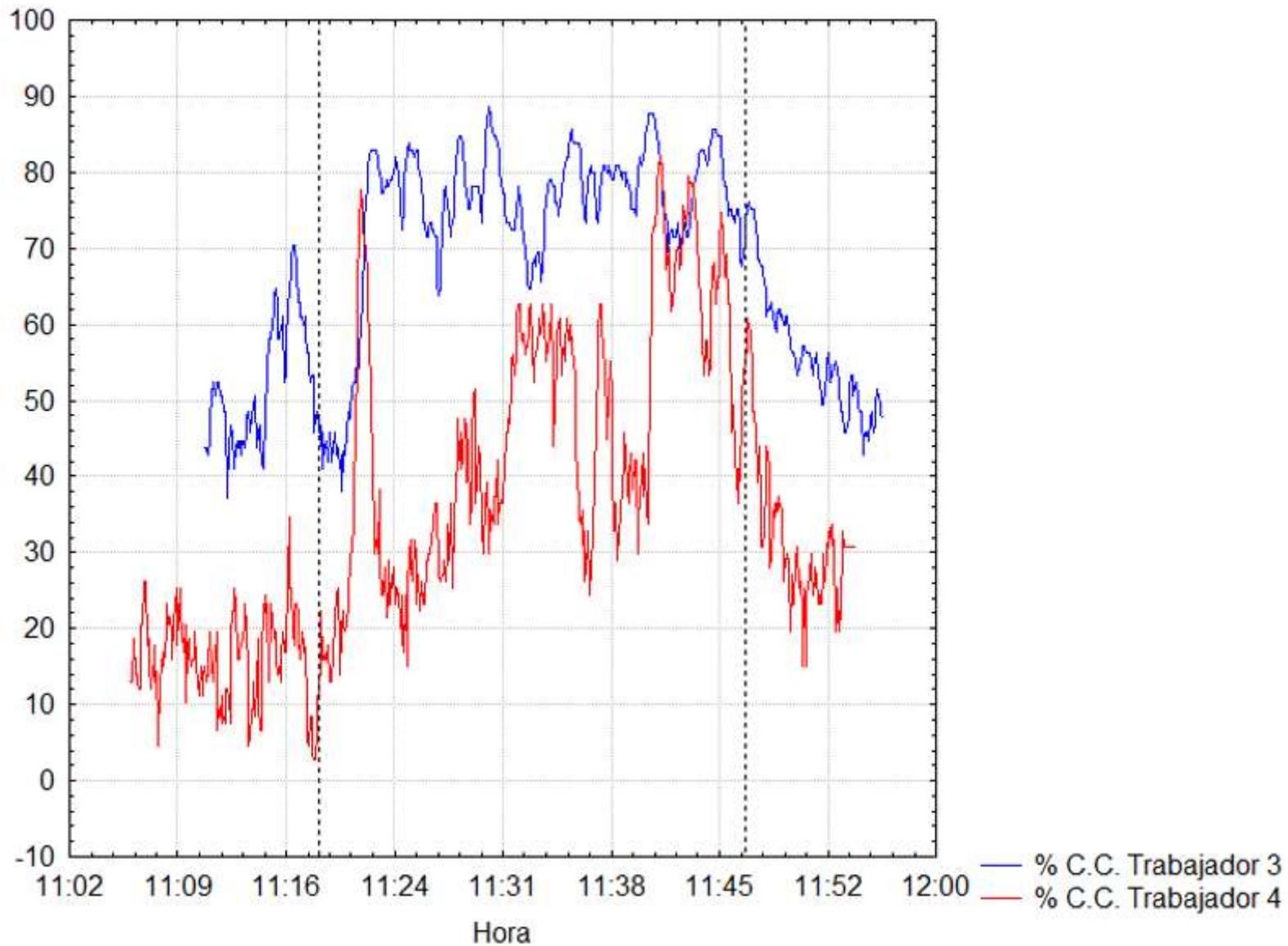
Durante el simulacro participaron seis trabajadores de una empresa que procedieron a realizar un rescate por medio de cuerdas y camilla.



Resumen de resultados de carga física.

Trabajador	Función	FC promedio	% C.C. promedio	%C.C. Mínimo	%C.C. Máximo	% C.C. Dev.Estd.
1	Apoyo estabilización tierra	119	43,2	14,6	62,4	12,8
2	Apoyo estabilización tierra	136	57,6	31,3	70,6	9,5
3	Apoyo estabilización cabina	153	73,9	43,6	85,1	11,3
4	Apoyo estabilización cabina	122	43,9	6,4	75,6	17,7
5	Líder	130	48,5	23,6	78,2	15,4
6	Apoyo estabilización cabina	124	44,7	17,9	69,6	13,9
Grupo		131	52,0	6,4	85,1	17,4

Gráfico del comportamiento de la carga cardiovascular de dos brigadistas antes, durante y luego de concluido el simulacro.



Simulacro de terremoto-maremoto en faena Puerto con rescate de trabajador inconsciente en plataforma de patio

Durante el simulacro participaron todos los trabajadores del Puerto y un grupo de 3 trabajadores realizaron el rescate de un trabajador “inconsciente” en la plataforma de patio. Dos de ellos utilizaron trajes de protección química y contaron con el apoyo de una ambulancia y un carro de emergencia.

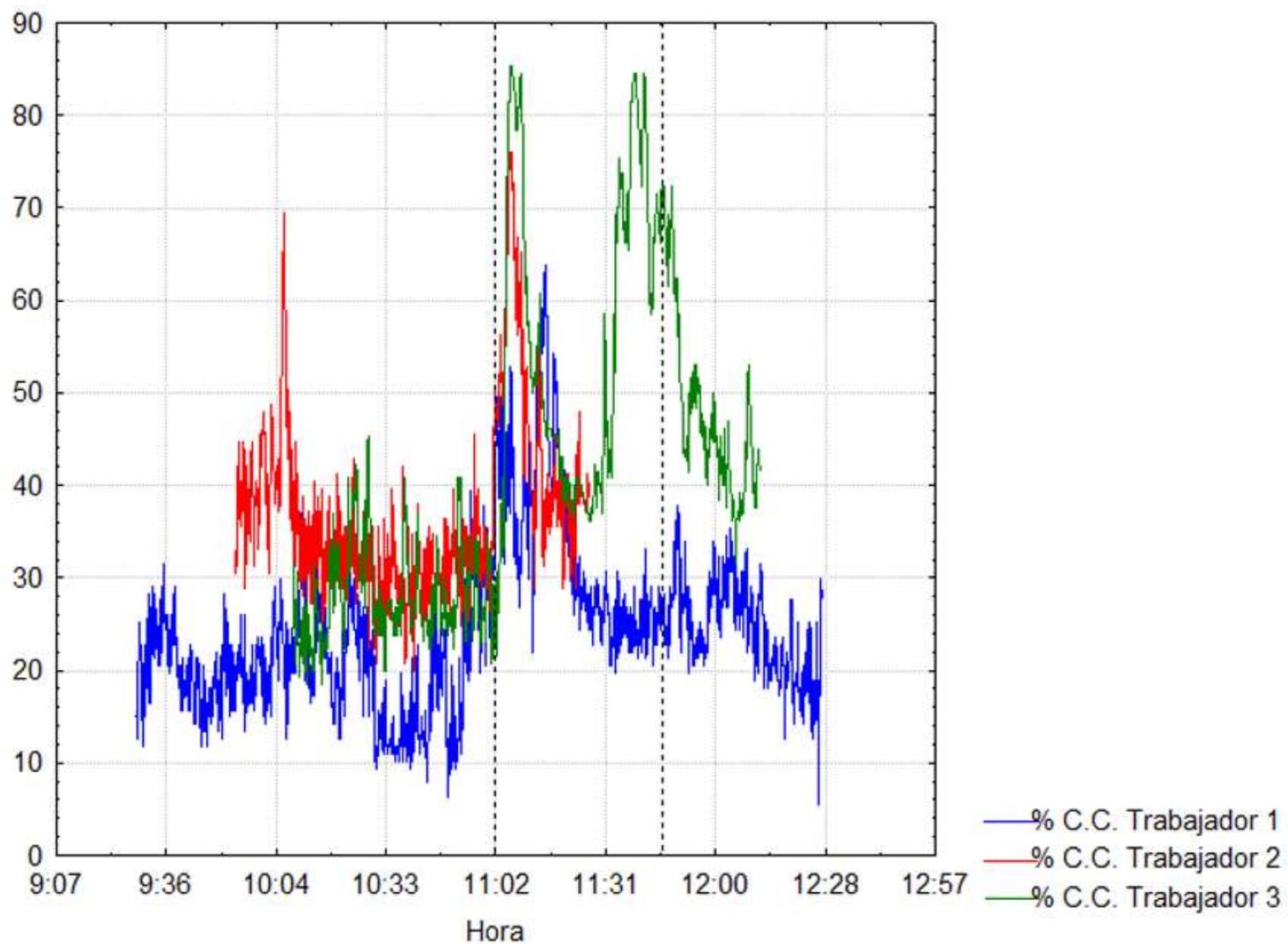
Fotografías de los equipos utilizados.



Resumen de resultado obtenidos.

Trabajador	Función	FC promedio	% C.C. promedio	%C.C. Mínimo	%C.C. Máximo	% C.C. Dev.Estd.
1	Conductor de ambulancia	103	34,1	19,7	63,8	10,0
2	Rescatista	115	45,5	28,9	76,0	11,2
3	Rescatista y conductor de vehículo de rescate	131	54,7	21,5	85,4	17,3
Grupo		117	44,7	19,7	85,4	16,2

Comportamiento de la carga cardiovascular durante el simulacro.



Simulacro de emergencia de formación de gas sulfhídrico en planta de molibdeno del Puerto

Durante el simulacro participaron todos los trabajadores de puerto. Personal de brigadas de emergencia constituido por cuatro personas participaron del rescate de un operado con fractura en uno de sus miembros inferiores.

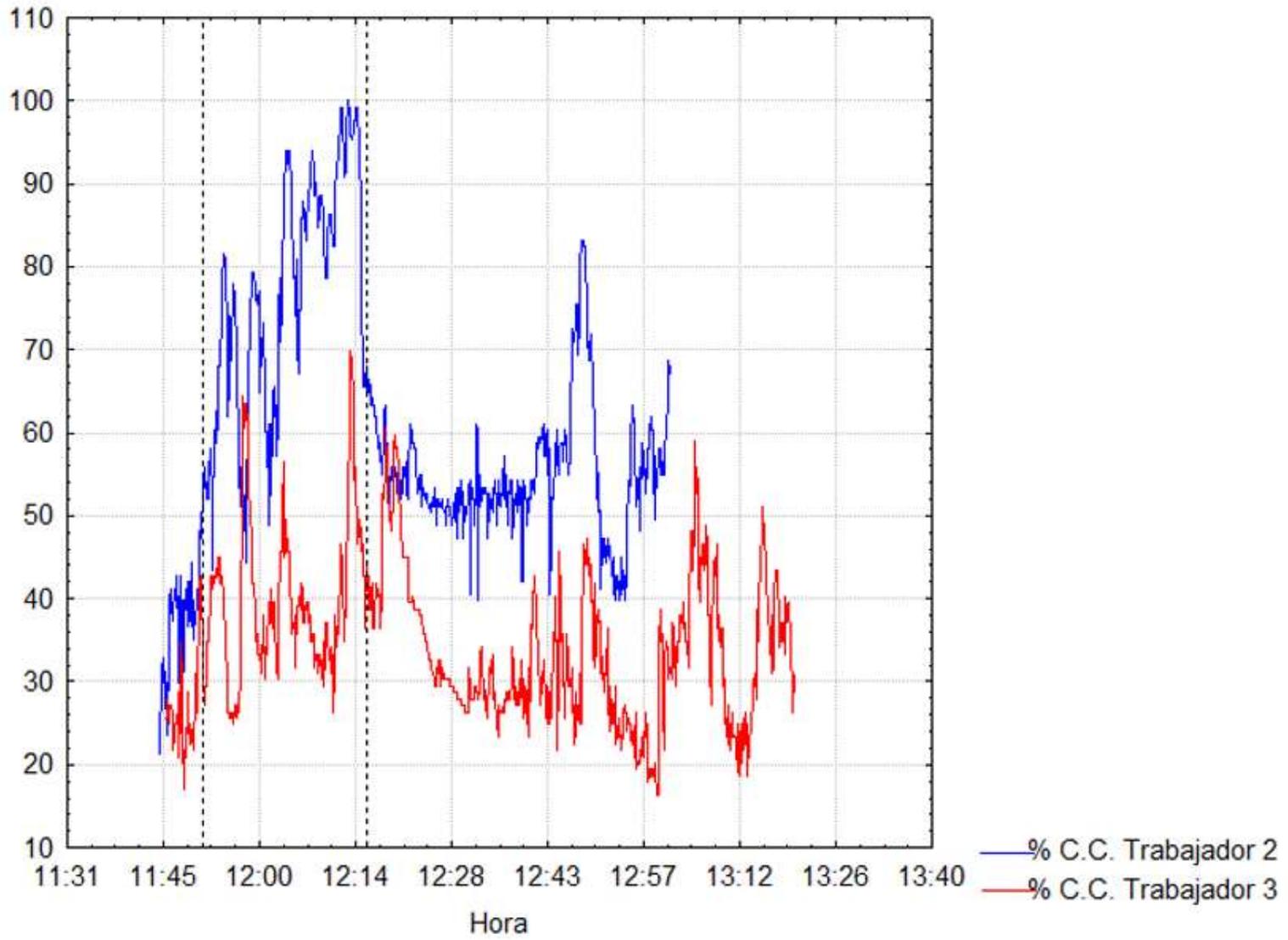
Rescate de trabajador lesionado desde zona de alto riesgo de intoxicación a zona de bajo riesgo de intoxicación.



Resumen de los resultados obtenidos.

Trabajador	Función	FC promedio	% C.C. promedio	%C.C. Mínimo	%C.C. Máximo	% C.C. Dev.Estd.
1	Rescatista que entrega primeros auxilios	122	53,1	31,9	81,9	12,2
2	Rescatista que inmoviliza a la persona	160	76,3	43,5	100,0	15,1
3	Rescatista preparado en caso de necesitar apoyo	111	39,6	24,8	69,8	9,3
4	Rescatista que entrega primeros auxilios	143	65,1	25,2	90,6	15,5
Grupo		135	59,1	24,8	100,0	19,6

Comportamiento de la carga cardiovascular de dos trabajadores con carga dispar



Tiempos de pausa de recuperación

- Desde el punto de vista fisiológico, es posible señalar que los niveles alcanzados requieren de pausas, las cuales se pueden calcular mediante la siguiente fórmula, del Departamento de Ergonomía de la Universidad de Concepción.

$$\text{Tiempo de Recuperación (min)} = \frac{\text{Tiempo trabajo (minutos)} \times (\% \text{ CC Trabajo} - 40 \% \text{ CC Límite})}{\% \text{ CC Trabajo}}$$

$$\text{Tiempo de Recuperación (min)} = \frac{151 \text{ min} (52,9 \% - 40 \%)}{52,9 \%} = 37 \text{ minutos}$$

En resumen

¿cuáles son las aptitudes específicas que deben tener las personas que se integran a cada tarea en el control de emergencias?

¿la organización debe tener preparación para que los brigadistas mantengan una buena salud física y mental, que les permita enfrentarse a su trabajo en forma eficiente y segura?

¿qué pausas y relevos requieren los brigadistas para realizar un trabajo eficiente y sin riesgos en el menor tiempo posible?

¿cuánto tiempo puede permanecer una persona trabajando bajo las adversas condiciones de una emergencia?

¿qué número de trabajadores deben integrar las brigadas industriales?