

LA GUIA DE LEVANTAMIENTO NIOSH 1991

Las lesiones de la espalda atribuidas a actividades de levantamiento manual de objetos continua siendo una de los principales intereses de la Medicina Preventiva, Laboral y de la Ergonomía. A pesar de los esfuerzos en el control, incluyendo programas dirigidos a los trabajadores y métodos de trabajo, las lesiones de la espalda continúan siendo un porcentaje considerable del sufrimiento humano y de los costos económicos. El Departamento de Trabajo de Estados Unidos estima que 4 de cada 5 trabajadores (el 80%) sufrirán de lesiones en la espalda durante su vida laboral y la mayor parte de estas lesiones se deben a esfuerzos por levantamiento manual de objetos.

Hace mas de 10 años, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos de América (NIOSH en ingles) reconoció el creciente problema de las lesiones en la espalda relacionadas con el trabajo, y publico la *Guía de Practicas de Trabajo para Levantamiento Manual* (NIOSH WPG, 1981). La NIOSH WPG (1981) contenía un sumario de la literatura relacionada con el levantamiento hasta 1981; procedimientos analíticos y una ecuación de levantamiento para calcular un peso recomendado para un tareas de levantamiento simétricas especificadas a dos manos; y una propuesta para controlar el peligro de lesiones en la espalda para levantamientos manuales. La propuesta de control asociada a un Limite de Acción (LA), un termino resultante que denotaba el peso recomendado derivado de la ecuación de levantamiento.

En 1985 NIOSH convocó un comité de expertos que revisaron la literatura existente de levantamiento, incluyendo la NIOSH WPG 1981. Basados en los resultados de la revisión de la literatura, la comisión recomendó criterios para definir la capacidad de levantamiento. El comité uso estos criterios para formular la ecuación revisada de levantamiento. La ecuación fue públicamente presentada en 1991.

Aunque la ecuación revisada de levantamiento no ha sido completamente validada, los limites de peso recomendados derivados de la ecuación revisada son consistentes con, o menores que, aquellos generalmente reportados en la

literatura. Además, la aplicación correcta de la ecuación revisada es mas adecuada para proteger la salud de los trabajadores en una amplia variedad de tareas de levantamiento que otros métodos que se basan en un solo factor o criterio.

A diferencia de las guías de levantamiento de NIOSH de 1981, las nuevas guías requieren de muchos mas cálculos, haciendo esencial un programa para computadora que realice todos estos cálculos. Bajo la nueva guía, un análisis de un solo trabajador que realice 15 subtareas de levantamiento manual puede requerir cerca de 300 cálculos manuales y 60 búsquedas en tablas. Multiplicando esto por 100 empleado. y se verá que es virtualmente una tarea casi imposible de hacer a mano.

La ecuación revisada de levantamiento para calcular el Limite Recomendado de Peso esta basada en un modelo multiplicativo que da una ponderación a seis variables de levantamiento. Las ponderaciones son expresadas como coeficientes que sirven para decrementar la constante de peso, que representa el peso máximo recomendado para ser levantado en condiciones ideales. El Limite Recomendado de Peso (**LRP**) es definido por la ecuación:

$$\mathbf{LRP = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM}$$

donde:

- LC** es la constante de peso
- HM** es el multiplicado de la variable horizontal
- VM** es el multiplicado de la variable vertical
- DM** es el multiplicado de la variable de desplazamiento vertical
- AM** es el multiplicado de la variable de asimetría
- FM** es el multiplicado de la variable de frecuencia de levantamiento
- CM** es el multiplicado de la variable del ajuste de agarre con el objeto

y

Constante de peso	CP	23 Kgs.
Multiplicador horizontal	HM	25/H
Multiplicador vertical	VM	1 - (0.003 V-75)
Multiplicador de la distancia	DM	0.82 + (4.5/D)
Multiplicador asimétrico	AM	1 - (0.0032A)
Multiplicador de frecuencia	FM	de Tabla 1
Multiplicador de agarre	CM	de Tabla 2

DEFINICION DE TERMINOS

Indice de levantamiento (IL)

El IL es un termino que da un estimado relativo del nivel de esfuerzo físico asociado con una tarea de levantamiento manual en particular. El IL esta definido por la siguiente ecuación:

$$IL = \frac{P}{LPR}$$

Tarea de levantamiento:

Se define como el acto de tomar manualmente un objeto de masa y tamaño definido, con las dos manos y mover verticalmente el objeto sin asistencia mecánica.

Localización horizontal (H)

Es la distancia desde el punto medio entre los tobillos al centro de las palmas de las manos (medido en el origen y el destino del levantamiento). Cuando H no puede ser medido, entonces puede ser aproximado con las siguientes ecuaciones:

Para $V \geq 25$ cmts.

$$H = 20 + W/2$$

Para $V < 25$ cmts

$$H = 25 + W/2$$

Si la distancia horizontal es menor de 25 cmts. entonces H la igualamos a 25 cmts. Si H es mayor que 63 cmts. entonces HM será igual a 0 ó no es posible el levantamiento.

Localización vertical (V)

Es la distancia medida desde el piso hasta las manos (medido en el origen y el destino del levantamiento). Si V es mayor que 175 cmts. entonces VM será igual a 0 ó no es posible el levantamiento.

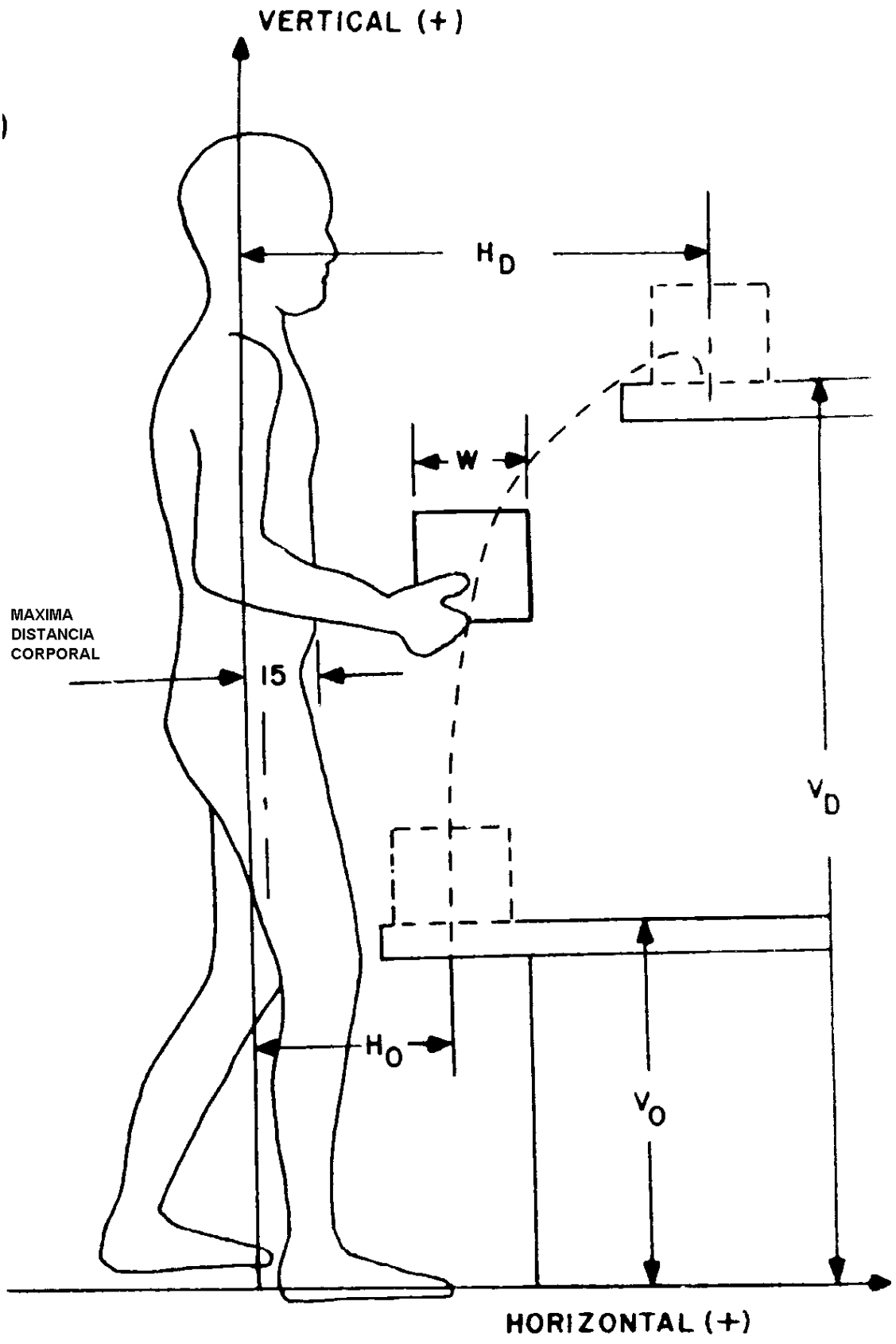
Distancia de trayecto vertical (D)

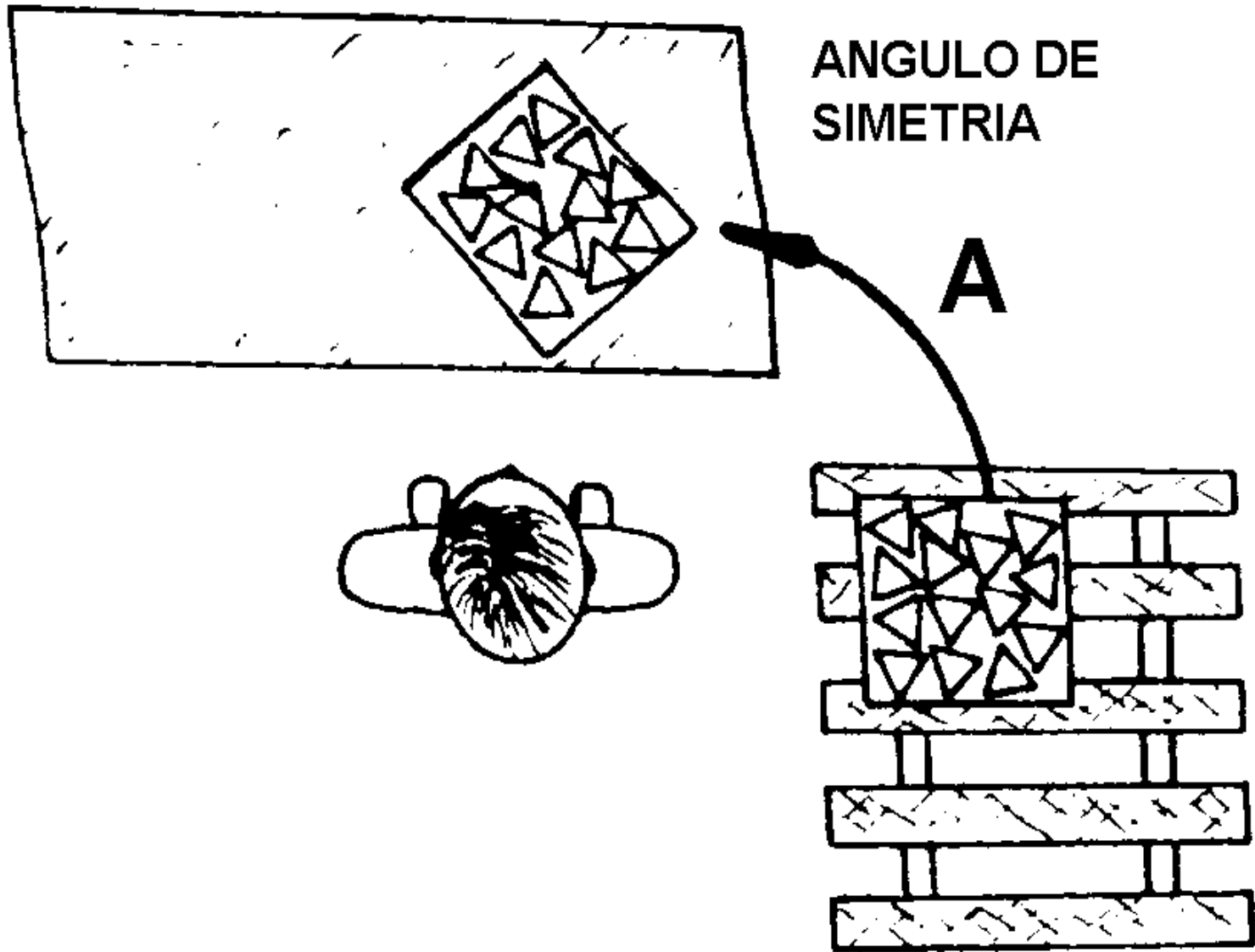
Es el valor absoluto de la diferencia entre la altura vertical en el origen y el destino del levantamiento. Si la trayectoria vertical es menor que 25 cmts. entonces D la igualaremos a 25 cmts.

Angulo de asimetría

Es la medida angular de que tan lejos el objeto es desplazado del frente del cuerpo del trabajador en el principio o fin del levantamiento (medido en el origen y destino del levantamiento, en grados). La línea de asimetría es definida

como la línea horizontal que junta el punto medio entre los huesos del tobillo y el punto proyectado en el piso directamente debajo del punto medio del agarre de las manos. El ángulo A es limitado al rango de 0° a 135° . Si el ángulo es mayor que 135° entonces AM es igual a 0, lo cual resulta en un LRP igual a 0 ó no es posible el levantamiento.





Frecuencia de levantamiento (F)

La frecuencia de levantamiento esta definida por el número promedio de levantamientos por minuto, en un período mínimo de 15 minutos. La duración del levantamiento es clasificado en tres categorías -- corta duración, moderada duración y larga duración --.

El levantamiento de corta duración son menores a una hora, seguido por un tiempo de recuperación igual a 1.2 veces el tiempo de trabajo.

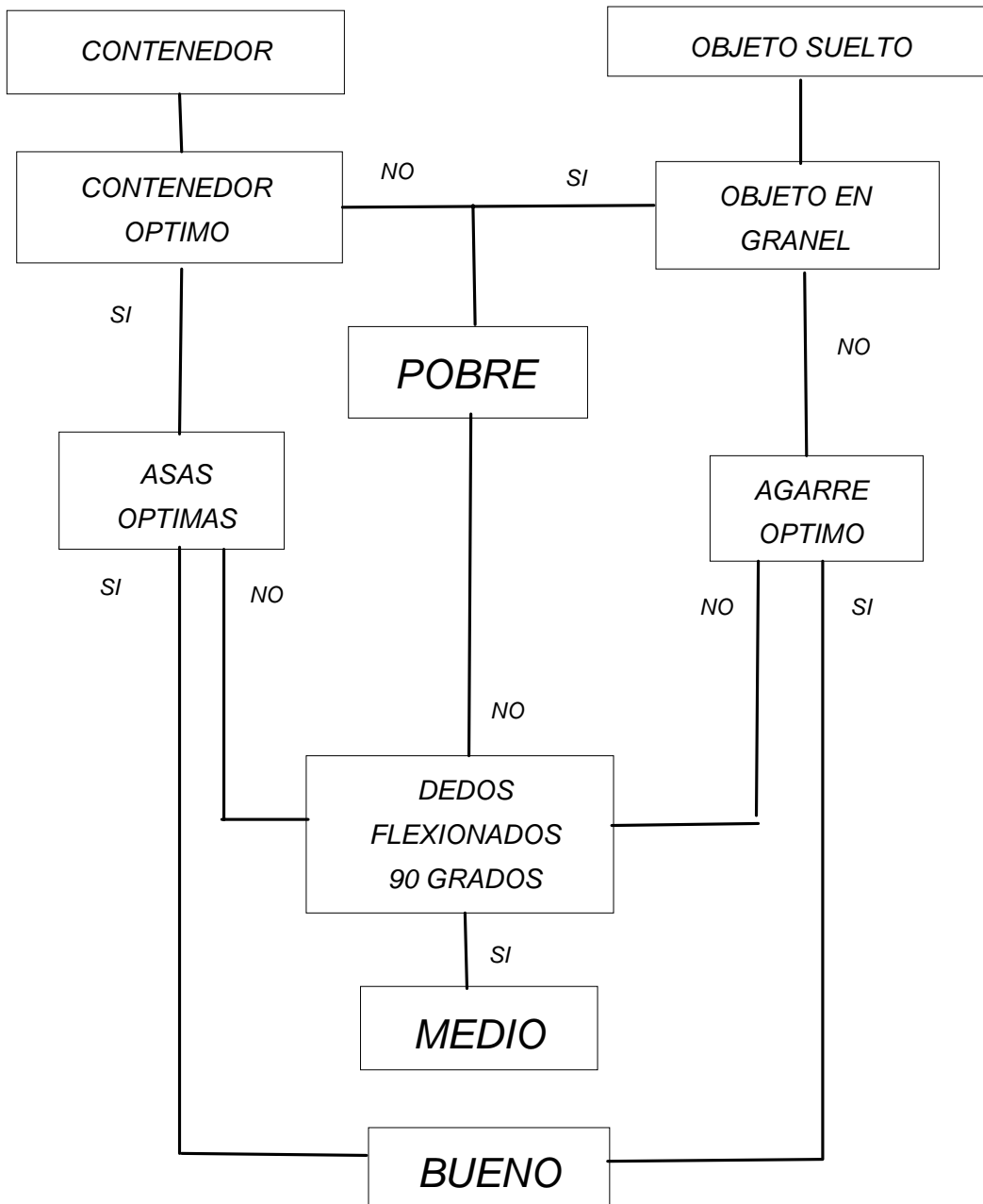
El levantamiento de moderada duración se define como las tareas de levantamiento que tienen una duración desde una hora hasta un máximo de dos horas, seguidos por un periodo de recuperación de al menos 0.3 veces el tiempo de trabajo.

El levantamiento de larga duración se define como las tareas de levantamiento que tiene una duración mayor a dos horas pero menor a ocho horas, seguidos por un periodo de recuperación indicada por los estándares internacionales.

Clasificación del agarre

La clasificación de la calidad del agarre de la mano al objeto. La calidad del agarre será buena, media o pobre. La figura siguiente da una mejor idea de este punto.

ARBOL DE DECISION PARA LA CALIDAD DE AGARRE



Control significativo

Control significativo es definido como una condición requerida para mover el objeto a un lugar preciso en el destino del levantamiento.

PROCEDIMIENTO PARA ANALIZAR TAREAS DE LEVANTAMIENTO.

El analista debe determinar (1) si el trabajo debe ser analizado como una sola tarea o como un trabajo de levantamiento manual multitareas, y (2) si se requiere un control significativo en el destino del levantamiento.

Un trabajo de levantamiento manual de una sola tarea es definido como el trabajo de levantamiento manual en el cual las variables de la tarea no varían de una tarea a otra o una sola tarea es de interés. Por otra parte, los trabajos de levantamiento manual multitarea son definidos como trabajos en los cuales hay diferencias significativas en las variables de las tareas entre tareas.

Cuando un control significativo de un objeto es requerido en el destino de un levantamiento, el trabajador debe aplicar una fuerza significativa para desacelerar el objeto. Entonces para asegurar el apropiado LRP, cuando se requiere control significativo, el LRP debe ser calculado en ambos, el origen y el destino del levantamiento, y el valor mas pequeño de los dos es usado para estimar el levantamiento general.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS MULTITAREA

El método esta basado en las siguientes suposiciones:

1. La ejecución de tareas de levantamiento múltiple puede incrementar la carga física o metabólica y este incremento de carga debe ser reflejado en un Límite Recomendado de Peso reducido y un incremento en el índice de levantamiento.
2. Este incremento en el Índice de Levantamiento depende de las características de la tarea de levantamiento adicional.
3. Que el incremento en el Índice de Levantamiento debido a la adición de una o mas tareas es independiente del Índice de Levantamiento de cualquiera de las tareas precedentes.

Este método esta basado en el concepto del Índice de Levantamiento Compuesto (ILC), el cual representa las demandas colectivas del trabajo, y es igual a la suma del mayor Índice de Levantamiento de Tareas Unitarias (ILTU) mas el incremento en el ILC de cada tarea subsecuentes es agregado.

Entonces, la decisión de usar análisis de una sola tarea o multitareas debe estar basado en: (1) la necesidad de información detallada de todas las facetas del trabajo de levantamiento multitarea, (2) la necesidad de precisión de los datos al ejecutar el análisis y (3) el nivel de entendimiento del analista de estimar el proceso.

Para ejecutar un análisis de levantamiento, dos pasos son tomados: (1) recolección de datos en el sitio de trabajo y (2) cálculo del LRP y ILC.

PASO 1.- RECOLECCION DE DATOS

Un análisis completo del trabajo es requerido para identificar y catalogar cada tarea de levantamiento. Para tareas multitrabajo los datos deben ser recolectados de cada tarea individual. Los datos necesarios para cada tarea incluye lo siguiente:

1. Peso del objeto que es levantado
2. Localización horizontal y vertical de las manos con respecto al punto medio entre los tobillos
3. Angulo de asimetría
4. Frecuencia de levantamiento
5. Duración del levantamiento
6. Tipo de agarre

PASO 2.- CÁLCULOS (TAREAS UNITARIAS)

Calcule el LRP en el origen de cada levantamiento. Para la tarea de levantamiento que requiera control significativo en el destino, se calcula el LRP en el origen y en el destino del levantamiento.

La estimación es completada determinando el Índice de Levantamiento para la tarea de interés.

(MULTITAREAS)

1. Calcule el Límite Recomendado de Peso Frecuencia-Independiente (LRPF-I) y el Límite Recomendado de Peso para Tareas Unitarias (LRPTU) para cada tarea,

LRPF-I Calcule el LRPF-I para cada tarea usando el multiplicador de frecuencia como 1. El LRPF-I refleja la demanda de fuerza muscular para una simple repetición de cada tarea. Si se requiere, en la tarea, de control significativo, el LRPF-I debe ser calculado en el origen y destino del levantamiento.

LRPTU Calcule el LRPTU para cada tarea multiplicando su LRPF-I por su multiplicador de frecuencia. El LRPTU refleja la demanda general para esta tarea, asumiendo que fue esta tarea la única en ser ejecutada. Nota: Este valor no refleja la demanda general de la tarea cuando otras tareas son consideradas.

2. Calcule el Índice de Levantamiento Frecuencia Independiente (ILF-I) y el Índice de Levantamiento de Tareas Unitarias para cada tarea (ILTU).

ILF-I Calcule el ILF-I para cada tarea dividiendo el máximo peso cargado por tarea por su respectivo LRPF-I, el máximo peso es usado para calcular el ILF-I debido a que el máximo peso determina la máxima carga biomecánica a que el cuerpo será expuesto.

ILTU Calcule el ILTU para cada tarea dividiendo el peso promedio entre el respectivo LRPTU. El peso promedio es utilizado para calcular el ILTU debido a que el peso promedio da una mejor representación de las demandas metabólicas, las cuales se distribuyen a través de las tareas. El ILTU puede ser usado también para priorizar las tareas individuales de acuerdo a la demanda de su esfuerzo físico.

3. Calcule el Índice de Levantamiento Compuesto (ILC) para el trabajo en general.

Las tareas son renumeradas en orden decreciente de esfuerzo físico, empezando con la tarea con el mayor ILTU. Las tareas son renumeradas de esta manera para que la tarea mas difícil sea considerada primero.

ILC El ILC para el trabajo es calculado de acuerdo a la siguiente formula:

$$ILC = ILTU + \sum \wedge IL$$

donde:

$$\sum \wedge IL = \left(ILF - I_2 * \left(\frac{1}{FM_{1,2}} - \frac{1}{FM_1} \right) \right) + \dots + \left(ILF - I_n * \left(\frac{1}{FM_{1,2,\dots,n}} - \frac{1}{FM_{1,2,\dots,(n-1)}} \right) \right)$$

NOTA: Note que (1) los números en los subíndices se refieren al nuevo número de tareas; y, (2) los valores FM son determinados de la tabla 1, basados en la suma de frecuencias para las tareas listadas en los suníndices.

Por ultimo, la ecuación de levantamiento revisada de NIOSH no se aplica si cualquiera de los siguientes eventos ocurre:

Levantar o bajar un objeto con una mano

Levantar o bajar un objeto por mas de ocho horas

Levantar o bajar un objeto mientras este sentado o arrodillado

Levantar o bajar un objeto en un espacio restringido

Levantar o bajar un objeto inestable

Levantar o bajar un objeto mientras se empuja, se jala o se carga

Levantar o bajar un objeto con movimientos de alta velocidad

Levantar o bajar un objeto en pisos resbaladizos

Levantar o bajar un objeto en ambientes no favorables

Levantar o bajar un objeto con asistencia mecánica

TABLA 1

DURACION						
	< 1 HORA		1-2 HORAS		2-8 HORAS	
F LEV/MIN	V < 75 cm	V ≥ 75 cms	V < 75 cm	V ≥ 75 cms	V < 75 cm	V ≥ 75 cms
≤.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
>15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

TABLA 2

TIPO DE AGARRE	V < 75 cm	V ≥ 75 cms
BUENO	1.00	1.00
MEDIO	.95	1.00
POBRE	.90	.90

FUERZA DE COMPRESION DE DISCO (L5/S1)

El modelo biomecanico presentado abajo puede ser usado para determinar la fuerza en el disco L5/S1 durante una tarea de levantamiento. Este modelo no predice la fuerza durante un levantamiento con giro o inclinacion. Es un modelo estatico.

El disco L5/S1 (union lumbosacral) es el punto de calculo para la fuerza de compresion del disco, debido a que es el disco mas estresado durante el levantamiento. Las fuerza de compresion en L5/S1 que exceden los 250 Kg. han demostrado inciden el las lesiones de la parte baja de la espalda.

La fuerza de compresion ejercida en los discos de la parte baja de la espalda es una funcion de:

La longitud y peso de los miembros superiores

Los angulos verticales del tronco y los miembros superiores

El peso del objeto levantado

Una figura estatica puede ser hecha para aproximar las posturas del cuerpo durante el levantamiento. Los angulos apropiados se pueden determinar a partir de esta figura. La estatura y peso del trabajador, el peso del objeto, y los angulos del cuerpo se introducen en la formula del modelo para determinar la fuerza de compresion del disco

Donde:

M	=	PESO DEL SUJETO EN KILOGRAMOS
L	=	ESTARURA DEL SUJETO EN METROS
W	=	PESO DEL OBJETO EN KILOGRAMOS
A	=	ANGULO VERTICAL DEL TRONCO
B	=	ANGULO VERTICAL DEL BRAZO
C	=	ANGULO VERTICAL DEL ANTEBRAZO
X1	=	$0.1010 * L \text{ sen } A$
X2	=	$0.2337 * L \text{ sen } A + 0.0827 * \text{sen } B$
X3	=	$0.2337 * L \text{ sen } A + 0.1896 * L * \text{sen } B + 0.0820 * L * \text{sen } C$
X4	=	$0.2337 * L \text{ sen } A + 0.1896 * L * \text{sen } B + 0.1907 * L * \text{sen } C$

ENTONCES:

$$\begin{aligned}
 FES &= 20(0.363*M*X1 + 0.062*M*X2 + 0.050*M*X3 + W*X4) \\
 E &= (FES*\text{sen}A)/(FES*\text{cos}A + 0.475*M + W) \\
 D &= \text{tan}^{-1}E \\
 R &= (FES*\text{sen}A)/\text{sen}D
 \end{aligned}$$

R = FUERZA DE COMPRESION DEL DISCO EN L5/S1

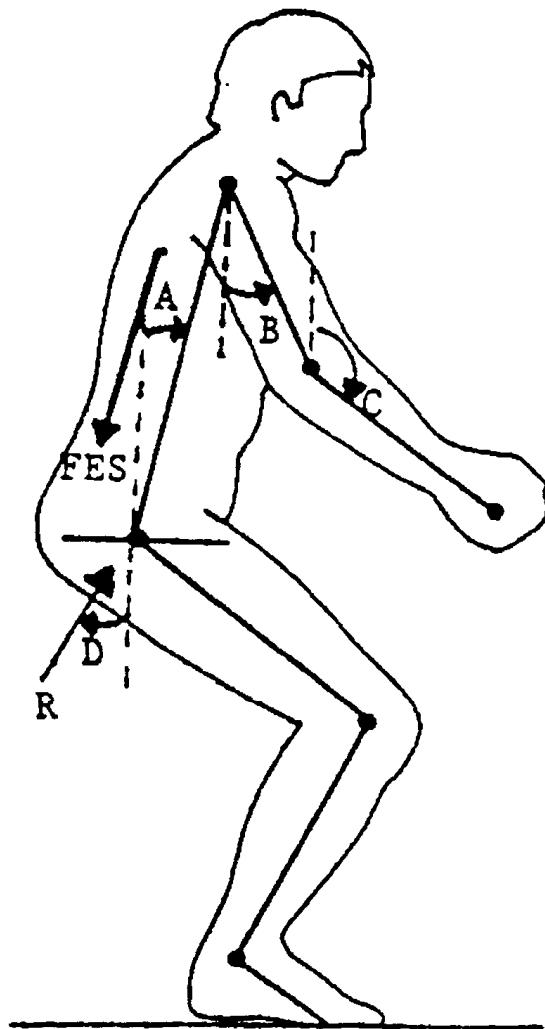


TABLA 1 Levantamientos a una mano para hombres, levantamientos ocasionales (F < 1 lev. por minuto)

Fuerza de levantamiento (lbs) para levantamientos a una mano con el brazo al frente del cuerpo, en el plano horizontal del hombro.

Posición	Distancia de Agarre Acromial (pulgadas)	EDAD (Años)		
		Hasta 40	41 - 50	50 - 60
De pie \ En cuclillas	25.6	22.0	22.0	19.8
	23.6	26.4	26.4	24.2
	19.7	33.0	33.0	28.6
	13.8	44.0	44.0	39.6
	7.9	55.0	55.0	48.4
	2.0	66.0	66.0	59.4
Sentado	25.6	22.0	19.8	17.6
	19.7	33.0	30.8	26.4
	15.7	44.0	39.6	35.2
	11.8	55.0	50.6	44.0
	5.9	66.0	59.4	52.8
	2.0	77.0	70.4	61.6
De Rodillas	25.6	26.4	22.0	19.8
	23.6	33.0	26.4	24.2
	21.6	37.4	28.6	26.4
	11.8	44.0	35.2	33.0
	9.8	55.0	44.0	39.6
	5.9	66.0	50.6	48.4

TABLA 1. cont: Levantamientos a una mano para hombres, levantamientos ocasionales (F < 1 lev. por minuto)

Posición	Distancia de Agarre Acromial (pulgadas)	Edad (Años)		
		Hasta 40	40-50	51-60
De pie \ En cuclillas	25.6	15.4	15.4	13.9
	23.6	18.5	18.5	16.9
	19.7	23.1	23.1	20.0
	13.8	30.8	30.8	27.7
	7.9	38.5	38.5	33.9
	2.0	46.2	46.2	41.6
Sentado	25.6	15.4	13.9	12.3
	19.7	23.1	21.8	18.5
	15.7	30.8	27.7	24.6
	11.8	38.5	35.4	30.8
	5.9	46.2	41.6	37.0
	2.0	53.9	49.3	43.1
De Rodillas	25.6	18.5	15.4	13.9
	23.6	23.1	18.5	16.9
	21.6	26.2	20.0	18.5
	11.8	30.8	24.6	23.1
	9.8	38.5	30.8	27.7
	5.9	46.2	35.4	33.9

Tabla 2. Pesos máximos aceptables para cargar (lbs)

Altura del piso a la mano	Distancia (pies)	Frecuencia Un movimiento cada...						
		6 sec	12 sec	1 min	2 min	5 min	30 min	8 hrs
Nivel del Codo	7 ft	29	31	33	33	35	35	46
	14 ft	24	26	33	33	35	35	46
	28 ft	24	26	31	31	31	31	42
Nivel de Nudillos	7 ft	33	37	40	40	42	42	55
	14 ft	24	29	35	35	37	37	51
	28 ft	24	29	35	35	37	37	51

Tabla 3. Pesos recomendables para carga a una mano

Distancia (Pies)	Frecuencia.. Un mov Cada	
	Menos de uno por minuto	Mas de uno por minuto
100	15.4	10.8
200	14.3	10.0
300	13.2	9.2

TABLA 4. Máxima fuerza de empuje a dos manos (lb) Inicial (Sostenida)

Altura del Piso a las manos	Distancia De empuje (pies)	Frecuencia Un movimiento cada..						
		6 sec	12 sec	1 min	2 min	5 min	30 min	8 hr
Nivel de Hombros	7	37(10)	40(22)	46(31)	48(31)	53(35)	55(37)	59(46)
	25	x	x	42(24)	44(24)	48(26)	51(29)	53(35)
	50	x	x	37(18)	37(20)	42(22)	44(24)	46(29)
	100	x	x	33(13)	35(18)	37(20)	42(20)	46(26)
	150	x	x	33(13)	35(18)	37(18)	42(18)	46(24)
	200	x	x	x	31(9)	33(13)	37(13)	42(20)
Nivel de Codros	7	37(15)	40(20)	46(29)	48(29)	53(33)	55(35)	59(42)
	25	x	x	44(24)	44(24)	48(29)	51(29)	55(37)
	50	x	x	37(18)	37(22)	42(24)	44(24)	46(31)
	100	x	x	33(15)	35(20)	40(20)	42(22)	46(29)
	150	x	x	33(13)	35(18)	40(18)	42(20)	46(26)
	200	x	x	x	33(9)	35(13)	37(15)	42(20)
Nivel de Rodillas	7	31(13)	33(18)	37(24)	37(24)	42(29)	44(31)	46(37)
	25	x	x	37(22)	37(24)	42(26)	44(26)	46(33)
	50	x	x	31(18)	33(20)	35(22)	37(22)	40(29)
	100	x	x	29(13)	31(18)	33(18)	35(20)	40(26)
	150	x	x	29(13)	31(15)	33(18)	35(18)	40(24)
	200	x	x	x	29(9)	29(13)	31(13)	35(18)
	NOTA: Una "X" en una celda indica que el empuje no puede ser ejecutado							

TABLA 5. Máxima fuerza para jalar a dos manos (lb) Inicial (Sostenida)

Altura del Piso a las manos	Distancia De empuje (pies)	Frecuencia: Un movimiento cada..						
		6 sec	12 sec	1 min	2 min	5 min	30 min	8 hr
Nivel de Hombros	7	35(15)	42(22)	44(29)	46(31)	53(33)	55(35)	57(44)
	25	x	x	42(26)	42(26)	46(29)	48(31)	53(40)
	50	x	x	35(20)	35(22)	40(24)	42(26)	44(33)
	100	x	x	31(15)	35(20)	37(22)	40(22)	44(31)
	150	x	x	31(13)	35(20)	37(20)	40(20)	44(26)
	200	x	x	x	31(13)	33(15)	35(15)	40(22)
Nivel de Codos	7	35(15)	42(22)	46(29)	48(29)	55(33)	57(35)	59(42)
	25	x	x	42(24)	44(26)	48(29)	51(31)	55(37)
	50	x	x	37(20)	37(22)	42(24)	44(26)	46(31)
	100	x	x	33(15)	35(20)	40(20)	42(22)	46(26)
	150	x	x	33(13)	35(18)	40(20)	42(20)	46(26)
	200	x	x	x	33(11)	35(15)	37(15)	42(20)
Nivel de Rodillas	7	37(13)	44(20)	48(26)	51(26)	57(29)	59(31)	62(40)
	25	x	x	44(24)	46(24)	51(26)	53(29)	57(35)
	50	x	x	37(18)	40(20)	44(22)	46(24)	48(29)
	100	x	x	35(13)	37(18)	40(20)	44(20)	48(26)
	150	x	x	35(13)	37(18)	40(18)	44(18)	48(24)
	200	x	x	x	33(11)	35(13)	40(13)	44(20)
NOTA: Una "X" en una celda indica que el empuje no puede ser ejecutado								

TABLE 6. Pesos recomendados para levantamiento para tareas de rodillas (75% de la población de mujeres)

DESCRIPCION DE LA TAREA	Peso recomendado de levantamiento (lb)
1.- Levantamiento con las 2 rodillas en el piso a 24" *	17.2
2.- Levantamiento con 1 rodilla en el piso a 24" *	17.0
3.- Transferencia horizontal con las rodillas en el piso *	17.9
4.- Bajar un objeto con las rodillas en el piso a 24" del piso *	17.9
5.- Arrodillado 1 rodilla, levantamiento a 2 manos del piso a:	44.0
35% Fn Rch (contenedor 24x12x6")**	35.6
60% Fn Rch	30.5
85% Fn Rch	
	44.0
35% Fn Rch (contenedor vertical 12x6x24")**	35.6
60% Fn Rch	26.9
85% Fn Rch	

35% Fn Rch (contenedor 6x25x12")**	44.0
60% Fn Rch	40.5
85% Fn Rch	30.5
6.- Arrodillado, 2 rodillas, levantamiento a 2 manos del piso a:	
35% Fn Rch (contenedor 24x12x6")**	44.0
60% Fn Rch	35.2
85% Fn Rch	30.5
35% Fn Rch (contenedor vertical 12x6x24")**	40.5
60% Fn Rch	35.6
85% Fn Rch	27.3
35% Fn Rch (contenedor profundo 6x25x12")**	44.0
60% Fn Rch	40.5
85% Fn Rch	31.9
7.- Arrodillado, 1 rodilla, levantamiento a 1 mano, del piso a:	
35% Fn Rch	13.0
60% Fn Rch	13.0
85% Fn Rch	13.0
8.- Arrodillado, 2 rodillas, levantamiento a 1 mano, del piso a:	
35% Fn Rch	13.0
60% Fn Rch	13.0
85% Fn Rch	13.0

* frecuencia = 6 levantamientos/minuto

** frecuencia = 1 levantamiento/8 horas

TABLA 7. Pesos recomendados de levantamientos para tareas sentado (75% de la población de mujeres)

TASK DESCRIPTION	RECOMMENDED WEIGHT OF LIFT (LB)
1.- Transferencia horizontal *	16.6
2.- Sentado, levantamiento a 2 manos del piso a:	
35% Fn Rch (contenedor 24x12x6")**	44.0
60% Fn Rch	35.6
85% Fn Rch	30.5
35% Fn Rch (contenedor vertical 12x6x24")**	40.5
60% Fn Rch	30.5
85% Fn Rch	24.4

35% Fn Rch (contenedor profundo 6x24x12")**	40.5
60% Fn Rch	35.6
85% Fn Rch	30.5
3.- Sentado, levantamiento a 1 mano del piso a: 35%, 60%, o 85% Fn Rcn**	13.0

* frecuencia = 6 levantamientos/minuto

** frecuencia = 1 levantamiento/8 horas

TABLA 8. Pesos recomendados de levantamientos para tareas acostados (75% de la población de mujeres)

TASK DESCRIPTION	RECOMMENDED WEIGHT OF LIFF (LB)
1. Acostado boca abajo, levantamiento a una mano:	16.8
2. Levantamiento de lado a una mano:	
cerca	12.1
lejos	12.8
3. Levantamiento de lado a dos manos:	
cerca	14.8
lejos	16.8
4. Levantamiento a una mano, boca arriba:	
cerca	16.8
lejos	23.3
5. Levantamiento a dos manos, boca arriba:	
cerca	46.8
lejos	58.5

Frecuencia de todas las tareas = 1 levantamiento /8 horas

GASTO METABOLICO DE ENERGIA

Indice

Introducción

Conceptos Básicos de Metabolismo

Métodos Usados para Evaluar la Demanda Metabólica de una Tarea

Desarrollo del Método Predictivo AAMA

Cálculos del Modelo

Interpretación de los Resultados de los Cálculos

Recomendaciones para el Rediseño de la Tarea

Introducción

Los trabajos de manejo manual de materiales requieren actividades físicas tales como levantar una caja, empujar/jalar un carro, o cargar un objeto. En un proceso llamado metabolismo, el cuerpo convierte la comida y utiliza el oxígeno para dar a los músculos la energía química necesaria para producir movimiento.

Cuando la actividad física se incrementa, la demanda muscular de esa energía química también se incrementa y el cuerpo responde incrementando el ritmo cardíaco y respiratorio.

Cuando no se alcanzan los requerimientos musculares (el gasto metabólico de energía excede la capacidad corporal de producir energía: esta capacidad es llamada Máximo Poder Aeróbico), se produce la fatiga física y se puede desarrollar un accidente cardiovascular. La fatiga física compromete la precisión, productividad y seguridad del trabajador.

Este modelo estima los requerimientos de energía para ejecutar una tarea (calculando el metabolismo total). Este valor es comparado con el Máximo Poder Aeróbico del trabajador (Capacidad de Trabajo Físico) para revelar el grado de fatiga física que producirá un trabajo de manejo manual de materiales.

Conceptos Básicos de Metabolismo

Los siguientes principios y definiciones facilitaran el entendimiento del modelo metabólico.

1. El Máximo Poder Aeróbico es el mayor Gasto Metabólico de Energía que una persona puede mantener. Cuando se aplica al trabajo, el Máximo Poder Aeróbico es llamado frecuentemente Capacidad de Trabajo Físico (CTF) y es expresada en kcal/min.
2. CTF es afectada por:
 - ⇒ edad: después de los 20 años de edad, la CTF disminuye
 - ⇒ ritmo cardiaco máximo: al disminuir el ritmo cardiaco, disminuye la CTF (el ritmo cardiaco máximo disminuye con la edad)
 - ⇒ salud: al mejorar la salud, se incrementa la CTF
 - ⇒ sexo: la CTF para un hombre normal y saludable de 35 años de edad es de 16 kcal/min. Para una mujer normal y saludable de 35 años de edad es de 12 kcal/min.
 - ⇒ duración del trabajo: La CTF se puede reducir hasta en un 40% cuando se compara una tarea ejecutada por dos horas con la misma tarea ejecutada por ocho horas.

El Máximo Poder Aeróbico para ocho horas de trabajo continuo es el 33% de la CTF. Entonces, la capacidad limite es:

- ⇒ aproximadamente 5.2 kcal/min para un hombre normal y saludable de 35 años de edad.
- ⇒ Aproximadamente 4.0 kcal para una mujer normal y saludable de 35 años de edad.

Hay una variabilidad considerable de la CTF entre trabajadores. Algunos ergomonistas estiman que el 80% de los hombres tienen una CTF menor a 5.2 kcal/min. Las decisiones de diseño se tienen que hacer considerando que para un trabajo con una duración dada, hay diferentes valores de gasto metabólico de energía para la población de trabajadores

El metabolismo total de un trabajo es el metabolismo requerido para ejecutar las actividades de un trabajo en particular. El metabolismo total es también llamado la demanda de metabolismo del trabajo y requerimientos de energía del trabajo.

Métodos Usados para Evaluar la Demanda Metabólica de una Tarea

Hay diferentes métodos para determinar la demanda metabólica de un trabajo.

Medición directa del consumo de oxígeno.

Este método mide directamente la cantidad de oxígeno consumido mientras el trabajador ejecuta un trabajo. Este volumen es convertido a unidades de energía por un factor de escalamiento.

Es el método más preciso y confiable. Sin embargo, requiere conocimientos y equipo técnico especiales. También, este método necesita ser aplicado a un grupo de diferentes trabajadores ejecutando el mismo trabajo a fin de desarrollar información grupal del gasto metabólico de energía.

Método de tablas

Este método usa tablas estándar para aproximar la demanda metabólica. Hay diferentes formas en que este método es usado.

Una forma involucra comparar el trabajo que se está evaluando a una lista de trabajos industriales estándar que tienen su correspondiente gasto metabólico de energía para una persona de sexo/edad específicos ejecutando este trabajo. Con algunas modificaciones, el gasto metabólico del trabajo que se está evaluando se asume que es similar al de la tabla.

Este método es rápido y fácil. Sin embargo, no es muy preciso debido a la relevancia y calidad de los datos de las tablas.

Predicción de variables fisiológicas.

Dentro de esta categoría varios métodos son utilizados.

Uno de ellos determina la relación de consumo de oxígeno y el ritmo cardíaco de un estudio de laboratorio. El ritmo cardíaco es monitoreado mientras una persona ejecuta su trabajo. Un estimado del metabolismo promedio es figurado del promedio del ritmo cardíaco que se está midiendo.

La medición de la variable fisiológica requiere equipo especial y un buen entendimiento de la fisiología humana para una aplicación precisa.

Método Predictivo

Este método usa un procedimiento de análisis del trabajo. Se ha determinado previamente el gasto metabólico de energía para trabajos específicos. Una vez que se ha analizado un trabajo, el gasto metabólico de energía de cada acción de las tareas es agregado para determinar el gasto metabólico de energía del trabajo.

Los modelos predictivos son rápidos, no interfieren con el trabajador y dan información de los trabajos que se están desarrollando. La debilidad en estos modelos involucra el nivel de detalle requerido para el análisis de las tareas. Cada acción de cada tarea que afecta el metabolismo debe ser reconocida e incluida en el gasto metabólico de energía total.

Desarrollo del Método Predictivo AAMA

Thomas Bernard. Determino directamente el consumo de oxígeno de 88 trabajos diferentes en cuatro plantas automotrices, además registro la descripción correspondiente.

Los datos fueron analizados buscando la correlación del gasto metabólico de energía con tareas específicas. Algunas tareas (variables críticas) fueron consideradas más importantes: de pie/sentado, movimiento de brazos, peso del objeto manipulado, frecuencia del ciclo de trabajo, caminar y fuerza.

Se uso un análisis de regresión para revelar la relación entre las variables críticas y la medición del metabolismo. Una correlación altamente significativa fue encontrada con las acciones de movimiento de brazos, caminar y levantar.

Se desarrollo una formula de predicción del gasto metabólico de energía:

Metabolismo total del trabajo (kcal/h) = 117 + (brazos * 25) + (caminar * 2.1) + (levantar * 4.4)

Una análisis mas reciente determino que la formula se puede mejorar al agregar el impacto de empujar/jalar. Se desarrollo una formula de predicción para empujar/jalar.

Metabolismo de empujar/jalar (kcal/h) = [5.2 + (2.2 * fuerza de empujar/jalar)] * la distancia cubierta mientras se empuja/jala

Entonces:

Metabolismo Total del Trabajo = 117 + (brazos * 25) + (caminar * 2.1) + (levantar * 4.4) + [5.2 + (2.2 * fuerza de empujar/jalar)] * la distancia cubierta mientras se empuja/jala

Cálculos del modelo

Este modelo calcula el gasto metabólico de energía sumando una constante y cuatro variables.

La constante

La constante es el gasto metabólico de energía mientras se descansa. Es la energía mínima usada por un trabajador al estar en posición de ejecutar un trabajo. El valor de la constante es de 117 kcal/h.

La variable de los brazos

Este factor es calculado determinando un valor para la actividad de los brazos.

- Si ocurre poco movimiento de brazos/manos, el valor = 0
- Si los movimientos de las manos/brazos esta dentro de los 50 centímetros, el valor = 1
- Si los movimientos de las manos/brazos excede los 50 centímetros, el valor = 2
- Si hay inclinación, giros y alcances extremos, el valor = 3

El valor es multiplicador por 25.

La contribución de la variable de los brazos al metabolismo total es expresada por la siguiente ecuación:

A = Contribución metabólica de la variable de los brazos = (valor * 25)

La variable caminar

Este factor se determina midiendo la distancia promedio cubierta al caminar en un minuto. La distancia se multiplica por 2.1. La distancia promedio no incluye la distancia caminada durante empujar/jalar, esto se considera en otra variable.

La contribución de la variable caminar al metabolismo total es expresada por la siguiente ecuación:

$B = \text{Contribución metabólica de la variable caminar} = (\text{distancia promedio caminada por minuto} * 2.1)$

La variable levantar

Este factor es derivado de multiplicar el valor de los brazos (A) multiplicado por el valor del peso, un valor de frecuencia y una constante.

Los valores del peso son:

- Si la mayoría de las partes pesan menos de 4 libras; el valor = 1
- Si la mayoría de las partes pesan entre 4 y 11 libras; el valor = 2
- Si la mayoría de las partes pesan mas de 11 libras; el valor = 3

Los valores de la frecuencia son:

Si hay menos de 2 ciclos por minuto; el valor = 1

Si hay entre 2 y cinco ciclos por minuto; el valor = 2

Si hay mas de 5 ciclos por minuto; el valor = 3

La contribución de la variable levantar al metabolismo total es expresada por la siguiente ecuación:

$C = \text{Contribución metabólica de la variable levantar} = (\text{valor de A} * \text{valor del peso} * \text{valor de la frecuencia} * 4.4)$

La variable empujar/jalar

Se mide la fuerza promedio ejercida mientras se empuja/jala (en kilogramos)

Se mide la distancia promedio que se camina al empujar/jalar en un minuto (en metros). Esta distancia no se debe incluir en la variable caminar.

La contribución de la variable empujar/jalar al metabolismo total se expresa por la siguiente formula"

D = Contribución metabólica de la variable empujar/jalar =
[(fuerza promedio empujar/jalar * 2.2) + 5.2] * distancia recorrida en un minuto mientras se empuja/jala

Cálculos del Modelo

Este es un modelo aditivo por lo que se sumaran la constante y las cuatro variables del gasto metabólico de energía para darnos el metabolismo total del trabajo, también llamado requerimientos de energía del trabajo o demanda metabólica del trabajo en kcal/h.

En forma de ecuación:

Metabolismo total del trabajo(kcal/h) = 117 + A + B + C + D

Interpretación de los Resultados de los Cálculos

El gasto metabólico de energía calculado de la descripción de las tareas es comparado con la Capacidad de Trabajo Físico del trabajador (la máxima tasa metabólica que un trabajador puede mantener) para una edad y sexo dados y duración del trabajo.

Don B. Chaffin describió un método para calcular la Capacidad de Trabajo Físico evaluando dos parámetros: Capacidad promedio de trabajo físico e índice de salud física.

Capacidad promedio de trabajo físico

Esta calculo da la tasa metabólica promedio máxima que un trabajador de 35 años puede mantener por un periodo de tiempo variable. Esta formula se basa en tres suposiciones:

1. Hay una tasa metabólica máxima: 16 kcal/min para un hombre y 12 kcal/min para una mujer
2. Para evitar la acumulación excesiva de desperdicio metabólico, un turno de 8 horas de trabajo debe ser limitada a: 5.2 kcal/min para hombres y 4.0 kcal/min para mujeres
3. Se reconocen restricciones sociales y económicas en la dieta, por lo que la tasa diaria debe limitarse a 2.5 kcal/min

Al tomar en cuenta estas tres suposiciones, se expresa la siguiente ecuación:

- Para un hombre

$$\text{Capacidad promedio de trabajo físico} = (\log 4400 - \log t)/0.187$$

- Para una mujer

$$\text{Capacidad promedio de trabajo físico} = (\log 4400 - \log t)/0.25$$

donde:

t = tiempo de actividad en minutos

$$\log 4400 = 3.64345$$

Índice de salud física

Para ampliar la aplicación de la capacidad promedio de trabajo físico y pueda ser usada para trabajadores mayores o menores de 35 años, Chaffin propuso la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de salud física} = \text{capacidad aeróbica}/16$$

Capacidad aeróbica = el máximo poder aeróbico de un individuo o, cuando se evalúa a un grupo de edad, el máximo poder aeróbico promedio para la edad específica.

Este factor será mayor para un grupo de edad menor de 35 años (debido a que la capacidad aeróbica de este grupo es menor que 16) y será menor para un grupo mayor de 35 años (debido a que la capacidad aeróbica de este grupo es menor que 16).

Vea las tablas que se presentan a continuación de la relación entre la edad y el índice de salud física (la relación es la misma para hombres y mujeres)

Capacidad de trabajo físico

La capacidad de trabajo físico (máximo poder aeróbico) para cualquier individuo o grupo puede ser determinada calculando la capacidad promedio de trabajo físico y multiplicándola por el índice de salud física.

CTF = Capacidad promedio de trabajo físico * índice de salud física

Al reordenar términos, se deriva una formula universal para la capacidad de trabajo físico para un periodo variable de tiempo de trabajo y un índice variable de nivel de salud.

Para hombres:

$$CTF = [(\log 4400 - \log t) / 0.187] * ISF$$

Para mujeres:

$$CTF = [(\log 4400 - \log t) / 0.25] * ISF$$

donde:

CTF = Capacidad de trabajo físico en kcal/min.

log 4400 = 3.64345

t = time de duración de las actividades en minutos

ISF = Índice de salud física

Indice de Salud Física y Capacidad de Trabajo Físico para mujeres (kcal/min)

EDAD	ISF	120 min.	240 min.	480 min	510 min.
20	1.16	7.26	5.86	4.46	4.34
25	1.13	7.07	5.71	4.35	4.23
30	1.09	6.82	5.51	4.20	4.08
35	1.00	6.26	5.05	3.85	3.74
40	0.95	5.94	4.80	3.66	3.56
45	0.93	5.82	4.70	3.58	3.48
50	0.91	5.69	4.60	3.50	3.41
55	0.88	5.51	4.45	3.39	3.29
60	0.83	5.19	4.19	3.19	3.11
65	.79	4.94	3.99	3.04	2.96

Indice de Salud Física y Capacidad de Trabajo Físico para hombres (kcal/min)

EDAD	I.S.F.	120 min.	240 min.	480 min.	510 min.
20	1.16	9.68	7.82	5.95	5.79
25	1.13	9.43	7.61	5.80	5.64
30	1.09	9.09	7.34	5.59	5.44
35	1.00	8.34	6.74	5.13	4.99
40	0.95	7.93	6.40	4.88	4.74
45	0.93	7.76	6.27	4.77	4.64
50	0.91	7.59	6.13	4.67	4.54
55	0.88	7.34	5.93	4.52	4.39
60	0.83	6.92	5.59	4.26	4.14
65	0.79	6.59	5.32	4.05	3.94

Conclusión:

Si el calculo del metabolismo total excede la capacidad de trabajo físico, el trabajo producirá fatiga, por lo tanto se deberán seguir controles administrativos o de ingeniería.

Si el calculo del metabolismo total es menor que la capacidad de trabajo físico, el trabajo estará dentro de los limites de la capacidad física del trabajador.

Recomendaciones para el rediseño de la tarea*Controles de ingeniería*

Las recomendaciones de ingeniería están basadas en los resultados de las cuatro variables (brazos, caminar, levantar y empujar/jalar). La variable con el resultado mas alto es el mayor contribuyente al metabolismo total de la tarea. Entonces, esta variable será el tema de la primera recomendación.

Recomendaciones específicas de ingeniería

Los cambios de diseño asociados con la variable de los brazos incluyen:

- Eliminar los alcances al doblarse, inclinarse, girar, o alcances extremos de la tarea. Esto se puede lograr al evitar levantar desde el piso, minimizando la distancia a la que se debe levantar un objeto, posicionando todos los materiales requeridos dentro de rango de los hombros a las rodillas.

Los cambios de diseño asociados con la variable de los caminar incluyen:

- Reducir la distancia de caminar/cargar. Esto se puede lograr al localizar las actividades unas cercas de las otras, instalando bandas transportadoras, utilizando montacargas, etc.

Los cambios de diseño asociados con la variable levantar incluyen:

- Si la variable de los brazos da un valor de 3, eliminar los alcances el doblarse, girar, inclinarse o alcances extremos.

- Si la variable del peso da un valor de 3, reducir el peso de las partes o herramientas.
- Si la variable de la frecuencia da un valor de 3, reducir el numero de ciclos a menos de cinco por minuto.

Los cambios de diseño asociados con la variable de empujar/jalar incluyen:

- Reducir la fuerza promedio ejercida durante empujar/jalar
- Reducir la distancia en la cual se empuja/jala

Controles administrativos:

Si los controles de ingeniería no son factibles, varios controles administrativos se pueden aplicar, tales como rotación de trabajos, ciclos de trabajo/descanso, disminución del ritmo de trabajo, para reducir el riesgo de fatiga general.

Dos cálculos nos pueden guiar a la planeación de controles administrativos. El primero, desarrollado por Chaffin, determina la cantidad máxima de tiempo que una persona o grupo de edad puede ejecutar una tarea de una determinada demanda metabólica. El segundo determina el porcentaje de tiempo de descanso que se debe permitir a una determinada capacidad de trabajo físico y una determinada demanda metabólica.

Tiempo máximo:

CTF = Capacidad promedio de trabajo físico * índice de salud física

Para hombres:

$$CTF = [(\log 4400 - \log t) / 0.187] * ISF$$

Si la capacidad de trabajo físico de la persona o grupo es igual a los requerimientos de energía del trabajo (metabolismo total del trabajo o demanda metabólica del trabajo), la cantidad de tiempo de trabajo antes de desarrollar fatiga se puede determinar.

$$CTF = GME$$

$$GME = (\log 4400 - \log t) * ISF(0.187)$$

Simplificando y reordenando términos y resolviendo para log t

para hombres:

$$\log t = \log 4400 - [(GME * 0.187)/ISF]$$

para mujeres:

$$\log t = \log 4400 - [(GME * 0.25)/ISF]$$

Conociendo la cantidad de tiempo de trabajo antes de que se desarrolle la fatiga física, se puede diseñar una programación para iniciar periodos de descanso o cambios de trabajo.

Formula de ciclo trabajo/descanso

El siguiente calculo se desarrollo para determinar el porcentaje de tiempo de descanso para una capacidad de trabajo físico y una demanda metabólica de trabajo

$$\% \text{ tiempo de descanso} = [(CTF - DE)/(ED - DE)] * 100$$

% tiempo de descanso = porcentaje de descanso para un periodo de tiempo de ejecución de trabajo (puede aplicarse a un periodo de una hora o un periodo de ocho horas)

GME = Gasto Metabólico de Energía

DE = Tasa de demanda promedio de energía del trabajo (kcal/min)

ED = Tasa de energía promedio durante el descanso (frecuentemente se usa 1.0 a 2.0 kcal/min)

Se pueden usar las dos fórmulas al mismo tiempo para darnos mas información útil del trabajo que se esta desarrollando.

De la formula de tiempo máximo, el analista sabe el tiempo disponible para el trabajo antes de que se presente la fatiga. En este momento es aconsejable un tiempo de descanso o un cambio de trabajo. La formula del ciclo trabajo descanso aconseja cuanto tiempo se debe pasar descansando antes de regresar a la actividad de demanda alta de energía metabólica.

Si solo la formula del ciclo de trabajo/descanso se utiliza, se puede caer en el error de dejar al trabajador ejecutar un trabajo muy estresante por largos periodos de tiempo. Este calculo da una recomendación del periodo de descanso. Es responsabilidad del analista determinar el tiempo máximo para que el ciclo trabajo/descanso ocurra en el tiempo apropiado durante el periodo de trabajo.

GASTO METABOLICO DE ENERGIA

FECHA DE ANALISIS _____ PUESTO _____

DEPTO/UNIDAD _____ ANALISTA _____

PARTE/UNIDAD _____

DURACION CICLO TRABAJO* _____ NO. DE PERSONAS EXPUESTAS _____

DESCRIPCION DEL TRABAJO _____

* CONTINUO > 4 HORAS FRECUENTE = 1 A 4 HORAS OCASIONAL < 1 HORA

Sexo: _____ Edad: _____ Tiempo de Trabajo: _____ min

A

- Si ocurre poco movimiento de brazos/manos, el valor = 0
- Si los movimientos de las manos/brazos esta dentro de los 50 centímetros, el valor = 1
- Si los movimientos de las manos/brazos exceden los 50 centímetros, el valor = 2
- Si hay inclinación, giros y alcances extremos, el valor = 3

B

B = (distancia promedio caminada por minuto * 2.1)

C

- Si la mayoría de las partes pesan menos de 1.8 kgs; el valor = 1
- Si la mayoría de las partes pesan entre 1.8 y 5 kgs; el valor = 2
- Si la mayoría de las partes pesan mas de 5 kgs; el valor = 3

Los valores de la frecuencia son:

- Si hay menos de 2 ciclos por minuto; el valor = 1
- Si hay entre 2 y cinco ciclos por minuto; el valor = 2
- Si hay mas de 5 ciclos por minuto; el valor = 3

C = Contribución metabólica de la variable levantar = (valor de A * valor del peso * valor de la frecuencia * 4.4)

D

D = [(fuerza promedio empujar/jalar * 2.2) + 5.2] * distancia promedio recorrida en un minuto mientras se empuja/jala

A = [_____ * 25] = _____

B = [_____ * 2.1] = _____

C = [_____ * _____ * _____ * 4.4] = _____

D = {[(_____ * 2.2) + 5.2] * _____ } = _____

GME = 117 + _____ + _____ + _____ + _____ = _____ Kcal/hr.

GME = _____ Kcal/min

Capacidad de trabajo físico

Para hombres:

$$\text{CTF} = [(\log 4400 - \log t) / 0.187] * \text{ISF}$$

Para mujeres:

$$\text{CTF} = [(\log 4400 - \log t) / 0.25] * \text{ISF}$$

CTF = Capacidad de trabajo físico en kcal/min.

t = time de duración de las actividades en minutos

ISF = Índice de salud física

$$= a + bX + c/(\ln X) + d/[X*(X)^{1/2}] + (e \ln X)/X^2$$

$$a = 318.62117$$

$$d = 76753.203$$

$$b = -0.35491919$$

$$e = -90577.139$$

$$c = -1468.2914$$

$$X = \text{edad}$$

ISF =

CTF =

Tiempo máximo:

para hombres:

$$\log t = \log 4400 - [(GME * 0.187) / \text{ISF}]$$

para mujeres:

$$\log t = \log 4400 - [(GME * 0.25) / \text{ISF}]$$

t =

TIEMPO DE RECUPERACION

$$\text{tiempo de recuperación} = [(\text{CTF} - \text{GME}) / (\text{ED} - \text{GME})] * \text{Tiempo de trabajo}$$

CTF = capacidad de trabajo físico

GME = Tasa de demanda promedio de energía del trabajo (kcal/min)

ED = Tasa de energía promedio durante el descanso (frecuentemente se usa 1.0 a 2.0 kcal/min)

TIEMPO DE RECUPERACION =